

## Estudio comparativo

Soldadura mecanizada con procesos  
GMAW/FCAW o GTAW frente a  
procesos de soldadura manual en  
tubería de transporte de  
hidrocarburos

---

Sara del Pilar RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

Diego Omar TOLE MARTÍNEZ



Universidad  
Tecnológica  
de Pereira

**Estudio comparativo de soldadura mecanizada con  
procesos GMAW / FCAW o GTAW frente a procesos de  
soldadura manual en tubería de transporte de  
hidrocarburos**

**Sara Del Pilar RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ  
Diego Omar TOLE MARTÍNEZ**

Universidad Tecnológica de Pereira  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Especialización en Soldadura  
Pereira, Colombia  
2017

**Estudio comparativo de soldadura mecanizada con  
procesos GMAW / FCAW o GTAW frente a procesos de  
soldadura manual en tubería de transporte de  
hidrocarburos**

**Sara Del Pilar RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ  
Diego Omar TOLE MARTÍNEZ**

Trabajo de grado para optar al título de  
**Especialista en Soldadura**

Director  
Ph. D. José Luddey MARULANDA AREVALO

Universidad Tecnológica de Pereira  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Especialización en Soldadura  
Pereira, Colombia  
2017



# CONTENIDO

*pág.*

<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE CUADROS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE IMÁGENES.....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>13</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>1 OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
<b>2 MARCO DE REFERENCIA.....</b>	<b>17</b>
2.1 LOS ELECTRODOS METÁLICOS .....	18
2.1.1 Funciones del revestimiento .....	19
2.1.1.1 Funciones eléctricas .....	19
2.1.1.2 Funciones metalúrgicas .....	19
2.1.1.3 Funciones mecánicas .....	20
2.2 CLASES DE SOLDADURA .....	21
2.2.1 Soldadura por arco eléctrico manual con electrodo metálico revestido	22
2.2.1.1 Principio de funcionamiento de la soldadura por arco eléctrico.	22
2.2.1.2 Procesos .....	23
2.3 CONCEPTO Y APLICACIÓN DE SOLDADURA MECANIZADA.....	37
2.3.1 Requerimientos del proceso .....	45
2.3.1.1 Diseño de junta.....	45
2.3.1.2 Gases .....	46

2.3.1.3	Máquina de corte y biselar en frío.....	46
2.3.2	Técnica de deposición de metal pase de raíz /RMD .....	48
2.3.3	Equipo orbital común .....	52
2.4	APLICACIÓN SOLDADURA AUTOMÁTICA EN COLOMBIA .....	57
<b>3</b>	<b>CÁLCULOS DE LAS DIFERENTES VARIABLES UTILIZADAS EN EL PROCESO MANUAL Y MECANIZADO .....</b>	<b>59</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>63</b>
4.1	COMPARACION ANÁLISIS TEÓRICO Y EXPERIMENTAL .....	63
4.1.1	Tiempos de soldadura .....	63
4.1.2	Ventajas de producción .....	63
4.1.3	Ventajas cualitativas económicas / de calidad y técnicas .....	64
4.1.4	Porcentaje de defectos que requieran reparación.....	65
4.1.5	Ventajas uso maquina cortador/biseladora .....	65
4.1.6	Comparación costos y tiempo de soldadura entre los dos procesos. ....	66
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>69</b>
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>71</b>

## LISTA DE TABLAS

	<i>pág.</i>
<b>Tabla 3-1.</b> Ejercicio proceso mecanizado: tubería 16" diámetro, 0,5" espesor. API 5IX65.....	59
<b>Tabla 3-2.</b> Continuación ejercicio proceso mecanizado: tubería 16" diámetro, 0,5" espesor. API 5IX65 .....	60
<b>Tabla 3-3.</b> Ejercicio proceso manual: tubería 16" diámetro, 0,5" espesor. API 5IX65 .....	61
<b>Tabla 3-4.</b> Ejercicio proceso manual: tubería 16" diámetro, 0,5" espesor. API 5IX65 .....	62
<b>Tabla 4-1.</b> Comparación tiempos de soldadura entre procesos manual y mecanizado .....	63
<b>Tabla 4-2.</b> Ventajas de producción entre los dos procesos .....	63
<b>Tabla 4-3.</b> Comparación uso cortadora/biseladora manual vs máquina .....	66
<b>Tabla 4-4.</b> Resultados en tiempos y costos para los dos procesos .....	67
<b>Tabla 4-5.</b> Costos total ahorrado por uso de proceso FCAW automático.....	68

## LISTA DE CUADROS

	<i>pág.</i>
<b>Cuadro 2-1.</b> Resumen de las funciones de algunas materias primas .....	20
<b>Cuadro 2-2.</b> Procesos soldadura por Arco eléctrico.....	23
<b>Cuadro 2-3.</b> Ventajas de los gases de protección en un proceso de soldadura MIG-MAG.....	30
<b>Cuadro 2-4.</b> Ventajas y limitaciones del proceso de soldadura GMAW .....	32
<b>Cuadro 2-5.</b> Requerimientos del proceso .....	46
<b>Cuadro 4-1.</b> Ventajas uso de proceso Manual Vs Mecánico.....	64
<b>Cuadro 4-2.</b> Comparación uso cortadora/biseladora manual VS maquina.....	65



## LISTA DE FIGURAS

	<i>pág.</i>
<b>Figura 2-1.</b> Principio general de la soldadura .....	17
<b>Figura 2-2.</b> Clasificación general de los procesos de soldadura .....	21
<b>Figura 2-3.</b> Partes del circuito de soldadura por arco eléctrico .....	22
<b>Figura 2-4.</b> Fusión del electrodo .....	23
<b>Figura 2-5.</b> Carta maestra de los procesos de soldadura (AWS) .....	24
<b>Figura 2-6.</b> Detalle del proceso de soldadura SMAW .....	25
<b>Figura 2-7.</b> Componentes del equipo de soldadura SMAW .....	27
<b>Figura 2-8.</b> Detalle del proceso GMAW .....	28
<b>Figura 2-9.</b> Componentes del equipo de soldadura GMAW .....	28
<b>Figura 2-10.</b> Clasificación AWS de los electrodos de la soldadura GMAW .....	29
<b>Figura 2-11.</b> Extensión del electrodo “Stickout” .....	30
<b>Figura 2-12.</b> Efecto de la posición del electrodo en el proceso de soldadura MIG-MAG .....	31
<b>Figura 2-13.</b> Inicio y fin (fulling cráter) del cordón de soldadura en el proceso MIG-MAG .....	31
<b>Figura 2-14.</b> Técnicas de soldadura para el proceso MIG-MAG .....	32
<b>Figura 2-15.</b> Detalle del proceso de soldadura GTAW .....	33
<b>Figura 2-16.</b> Componentes del equipo de soldadura GTAW .....	34
<b>Figura 2-17.</b> Detalle del proceso de soldadura FCAW .....	36
<b>Figura 2-18.</b> Sistema de robot para soldadura orbital de tuberías .....	38
<b>Figura 2-19.</b> Campos de aplicación de la soldadura mecanizada .....	44
<b>Figura 2-20.</b> Junta a tope: max 3 mm .....	45

<b>Figura 2-21.</b> Junta en U 3 mm y más .....	45
<b>Figura 2-22.</b> Junta N-G 6mm y más .....	45
<b>Figura 2-23.</b> Junta en V .....	46
<b>Figura 2-24.</b> Pase de Raíz con diferentes técnicas .....	51
<b>Figura 2-25.</b> Control remoto equipo orbital .....	53
<b>Figura 2-26.</b> Descripción Botones control .....	54
<b>Figura 2-27.</b> Soldadura por Arco Eléctrico con Alambre Tubular .....	55

## LISTA DE IMÁGENES

	<i>pág.</i>
<b>Imagen 2-1.</b> Equipos de soldadura .....	18
<b>Imagen 2-2.</b> Máquinas orbitales.....	39
<b>Imagen 2-3.</b> Soldadura en tubos de diferente diámetro .....	40
<b>Imagen 2-4.</b> Tubo de caldera.....	40
<b>Imagen 2-5.</b> Soldadura en aleación de cobre .....	41
<b>Imagen 2-6.</b> Soldadura en elementos gruesos .....	41
<b>Imagen 2-7.</b> Soldadura entre materiales disímiles .....	42
<b>Imagen 2-8.</b> Acabados de calidad con soldadura mecanizada .....	42
<b>Imagen 2-9.</b> Máquina Cortadora y biseladora .....	48
<b>Imagen 2-10.</b> Proceso RMD .....	49
<b>Imagen 2-11.</b> Pase de raíz utilizando técnica RMD .....	52
<b>Imagen 2-12.</b> Configuración Dual de Cabezales en una Sola Banda.....	55
<b>Imagen 2-13.</b> Sistema de refrigeración recirculado.....	56
<b>Imagen 2-14.</b> Fuente de Potencia.....	56
<b>Imagen 2-15.</b> Alimentador de alambre.....	57
<b>Imagen 2-16.</b> Preparación de la tubería para ser soldada automáticamente .....	58

## LISTA DE GRÁFICOS

*pág.*

<b>Gráfico 2-1.</b> Ventajas competitivas de soldadura TIG mecanizada (Orbital) .....	43
<b>Gráfico 2-2.</b> Costos de Soldadura TIG Manual Vs. TIG mecanizada .....	44

## RESUMEN

En la industria del petróleo, el transporte de los hidrocarburos desde los campos de producción hacia los diferentes puntos de refinación o de embarque para la exportación cumple una función primordial, como lo es la de hacer llegar de un punto a otro de forma segura y eficiente el producto extraído de los pozos o en el caso de los poliductos el transporte de los productos refinados desde la refinería hasta los centros de distribución de las ciudades. El sistema de transporte de combustible se realiza mediante sistemas de tuberías.

Con el paso de los años se han ido optimizando las técnicas usadas en la construcción de estos sistemas, las cuales se encuentran enmarcadas dentro de las normas API (*American Petroleum Institute*), ASTM (*American Society for Testing and Materials*), ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), entre otras. Para la construcción de los oleoductos, poliductos y gasoductos se requiere personal calificado y con experiencia en el sector, estas construcciones de sistemas de transporte se tardan un tiempo determinado, dependiente de trazado, tamaño y tipo del proyecto.

Las uniones de los tubos se realizan por medio de proceso de soldadura SMAW (*Shielded metal arc welding*) también llamado de electrodo revestido. Pero también existen otros procesos que pueden ser más rápidos y con mejor rendimiento en sus materiales consumibles, uno de ellos es el proceso de soldadura GMAW (*Gas metal arc welding*) o de electrodo desnudo con gas protector.

Se realiza un estudio comparativo con algunos aspectos, inspección visual, inspección radiográfica, ensayos y pruebas mecánicas. Se determina cuál de los procesos es más confiable y menos costoso.

**Palabras clave:** Soldadura, procesos manuales, procesos mecanizados, SMAW, GMAW, FCAW, GTAW.

## INTRODUCCIÓN

Históricamente Colombia ha sido considerada como un país petrolero, sin embargo, la visión del mundo sobre su producción de crudo considera que es una nación con petróleo que no posee la industria y tecnología de punta para considerarse un estado petrolero. La evaluación de si Colombia es o no un estado petrolero hace necesario un entendimiento previo de los sucesos históricos relacionados con la exploración, explotación, producción y transporte de hidrocarburos (COLFECAR, 2014). A principios de los setenta se postula la necesidad de desmontar parcialmente el estado intervencionista, afectando la industria y el agro, pero no al sector minero energético; sin embargo, el notable incremento en *la construcción de infraestructura* (COLFECAR, 2014) crea la necesidad del transporte del crudo y sus derivados empelando Oleoductos, Poliductos y Gasoductos.

Los ductos de transporte de hidrocarburo son considerados estructuras de alto riesgo dado el producto que transportan, haciendo necesario durante su construcción y mantenimiento el cumplimiento de altos estándares de calidad basados en normas internacionales, además, la elaboración de estrategias de mantenimiento que busquen conservar la integridad y confiabilidad de las líneas para la entrega oportuna del producto a su respectivo *cliente*. Dicho mantenimiento puede ser según su naturaleza: preventivo, correctivo y predictivo, buscando siempre la preservación de la integridad de los ductos y por ende la seguridad de las instalaciones y de la población.

El mantenimiento *correctivo* ocurre cuando un elemento, sistema, máquina o tubería falla por deterioro del mismo, por falta de mantenimiento o por acción de terceros; lo cual hace necesaria una reparación, refuerzo o remplazo inmediato. El mantenimiento *preventivo* obedece a una revisión periódica que muestra el estado actual de la estructura para identificar posibles reparaciones o cambios convenientes con el fin de evitar fallas en el sistema y así conservar la integridad del mismo. Por último, el mantenimiento *predictivo* evalúa lo que podría suceder en un determinado tiempo durante el cual no se realice un sostenimiento adecuado del sistema.

Los tres tipos de mantenimiento mencionados requieren previamente de procedimientos de inspección, en busca de conocer el estado actual estructural, es decir, la integridad del ducto; dicha inspección puede realizarse de distintas maneras: desde una simple inspección visual con registros sistematizados o

mediante la utilización de un equipo sencillo de ultrasonido, hasta la implementación de equipos de alta tecnología.

Una de las técnicas de mayor uso en la construcción y reparación de ductos (reposición o cambio de tramo) es el proceso de soldadura SMAW (*Shielded metal arc welding*), el cual está sujeto a los posibles errores causados por la mano de obra humana que finalmente influyen en la calidad de la soldadura aplicada.

Actualmente, las industrias petroleras en Colombia conservan los procesos de soldadura *manual* en la construcción y/o reparación de ductos, generando pérdida de tiempo por posibles reparaciones de las juntas de soldadura debidas a la baja calidad del proceso, reducción en el rendimiento de construcción y/o reparación, incremento de los costos de estos, y retrasos en la entrega y abastecimiento del producto a los *clientes*.

El presente trabajo pretende estudiar y analizar la aplicación de la soldadura mecanizada con procesos GMAW (*Gas metal arc welding*) / FCAW (*Flux-cored arc welding*) o GTAW (*Gas tungsten arc welding*) en tubería de transporte de hidrocarburos, evidenciando sus ventajas en calidad de soldadura, reducción de costos de aplicación y optimización de tiempos frente a dicha aplicación empleando técnicas manuales, además, de la implementación de técnicas limpias y amigables con el medio ambiente.

Finalmente, se busca generar inquietudes en la industria del petróleo acerca de cómo podría un estudio comparativo entre la soldadura mecanizada con procesos GMAW / FCAW o GTAW establecer los parámetros de decisión dentro de la aplicación de dichas técnicas en el sector de hidrocarburos en Colombia y de esta manera estimar a futuro el impacto de la implementación de la tecnología de soldadura mecanizada en las actividades de construcción y mantenimiento de las redes de transporte de hidrocarburos.

# 1 OBJETIVOS

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio comparativo de la aplicación de soldadura mecanizada con procesos GMAW (*Gas metal arc welding*) / FCAW (*Flux-cored arc welding*) o GTAW (*Gas tungsten arc welding*) frente a la aplicación de soldadura empleando técnicas manuales, evidenciando las ventajas que pueda tener un proceso sobre el otro.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

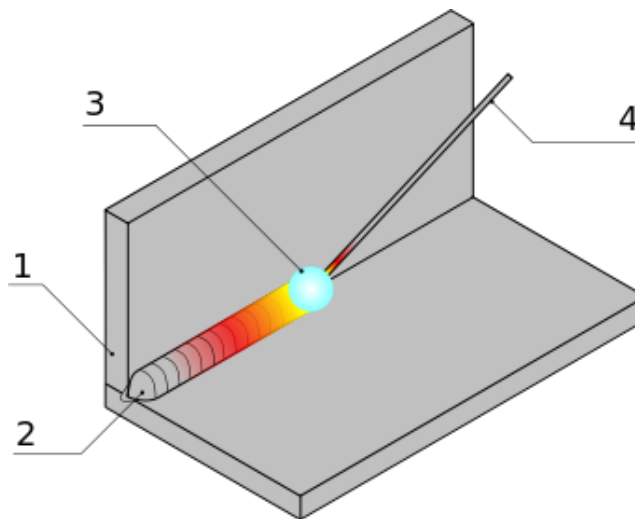
- Elaborar un marco de referencia que permita sustentar los distintos procesos evaluados.
- Calcular las diferentes variables involucradas en la ejecución de cada uno de los procesos evaluados.
- Comparar las variables obtenidas a fin de establecer diferencias entre procesos en cuanto a calidad de soldadura, costos de aplicación, tiempos de ejecución y efectos medioambientales.



## 2 MARCO DE REFERENCIA

La soldadura se define como un proceso de fabricación donde se unen dos piezas de un mismo material o materiales similares (metales o termoplásticos) lograda a través de la *coalescencia* (fusión o unión de la estructura de las partículas de los materiales que se están soldando), la cual se produce mediante el calentamiento de materiales a temperaturas de soldadura requeridas, se puede emplear o no material de aportación (metal, plástico, cristal o cerámica), este al fundirse y luego enfriarse forma una unión fija entre los materiales. En ocasiones se aplica presión y calor en conjunto, o solo presión para producir la soldadura, caso contrario a la aplicación de la soldadura blanda (*soldering*) y la soldadura fuerte (*brazing*), en las cuales se emplea material de aportación cuyo punto de fusión es menor que el de las piezas a soldar, formando un enlace entre ellas sin necesidad de fundir las piezas.

**Figura 2-1.** Principio general de la soldadura



Fuente: Tomado de CDANG (2012)

En la *Figura 2-1*:

1. Material a soldar
2. Cordón de soldadura
3. Fuente de energía
4. Material de aportación

Para la aplicación de la soldadura se pueden emplear distintas fuentes de energía, entre ellas, una llama de gas, un arco eléctrico, un láser, un rayo de electrones, procesos de fricción o ultrasonido. La energía necesaria para formar la unión entre dos piezas de metal generalmente proviene de un arco eléctrico. La energía para soldaduras de fusión o termoplásticos generalmente proviene del contacto directo con una herramienta o un gas caliente.

**Imagen 2-1.** Equipos de soldadura



Fuente: Tomado de GULLCO (2015)

## 2.1 LOS ELECTRODOS METÁLICOS

Constituyen un factor de gran importancia para obtener buenos resultados en la soldadura, están compuestos de un *núcleo metálico* y un *revestimiento químico*. El *núcleo* es una varilla metálica que posee una composición química definida para cada metal al que está destinado el electrodo, está compuesto por diversos elementos como hierro, carbono, manganeso, silicio, fósforo, azufre y otros, que proporcionan diferentes propiedades y características a la junta soldada. El núcleo metálico constituye la base del material aportante, al ser transferido a la pieza en forma de gotas, impulsado por la fuerza electromagnética del arco eléctrico. El *revestimiento* posee una composición química particular para cada tipo de electrodo, este se aplica en torno del núcleo metálico.

## **2.1.1 Funciones del revestimiento**

El revestimiento químico cumple funciones indispensables y decisivas en la ejecución y calidad de la soldadura, estas se pueden clasificar en:

### **2.1.1.1 Funciones eléctricas**

- Permitir el empleo de la corriente alterna: como es sabido, la corriente alterna cambia de polaridad 120 veces por segundo creando una gran inestabilidad en el arco; este problema ha sido solucionado agregando a los revestimientos algunos elementos químicos que, al quemarse en el arco, producen gases especiales ionizados que mantienen la continuidad del arco. Cualquier electrodo para corriente alterna puede ser empleado también con corriente continua, pero no todos los electrodos fabricados para corriente continua pueden ser utilizados con corriente alterna.
- Facilitar el encendido del arco y mantenerlo encendido durante la ejecución de la soldadura.

### **2.1.1.2 Funciones metalúrgicas**

- Proteger el metal fundido de los gases dañinos del aire: algunos elementos del revestimiento forman al quemarse una capa de gases que rodea al arco, protegiendo a las finas gotas de metal que son proyectadas por el arco contra el contacto con el aire, así como al metal fundido del charco de fusión. El aire contiene oxígeno y nitrógeno en grandes cantidades que al combinarse con el metal fundido forman óxidos y nitruros debilitándolo, haciéndolo poroso, frágil y menos resistente a la tracción y al impacto.
- Formar la escoria protectora del metal caliente: ciertas materias del revestimiento se funden y se mezclan con el metal de soldadura mientras recogen las impurezas del metal, haciéndolas flotar en la superficie del material fundido. Así se forma la escoria que protege al cordón caliente, retardando su enfriamiento para que no llegue a templarse por el contacto violento con el aire frío, permitiendo que los gases escapen del metal.
- Compensar la pérdida de los elementos que por acción de la alta temperatura del arco eléctrico tienden a desaparecer durante el proceso de fusión. Los elementos de compensación mejoran muchas veces el metal depositado y le dan características mecánicas superiores al metal base.

- Aportar elementos de aleación para obtener propiedades y características determinadas en el metal depositado.

### 2.1.1.3 Funciones mecánicas

- El revestimiento tiende a fundirse inmediatamente después del núcleo metálico formando una concavidad, de forma tal que el revestimiento permite dirigir la fuerza del arco y las gotas del metal fundido en la dirección deseada; esta función que cumple el revestimiento es de gran utilidad, sobre todo en posiciones forzadas.
- Permitir el depósito de cordones, “arrastrando” el electrodo: en muchos casos el revestimiento establece contacto con la pieza, cuando se está soldando; en realidad, el revestimiento que sobresale del núcleo establece la separación entre la pieza y el extremo del núcleo metálico y entonces el arco arde dentro de la concavidad formada por el revestimiento.

**Cuadro 2-1. Resumen de las funciones de algunas materias primas**

<b>Materias primas</b>	<b>Función principal</b>	<b>Función secundaria</b>
<b>Minerales</b>		
Óxido de hierro	Agente oxidante, dar características de acidez al revestimiento	Estabilizar el arco
Rutilo (TiO <sub>2</sub> )	Formar escoria, estabilizar el arco	-
Cuarzo (SiO <sub>2</sub> )	Formar escoria	-
<b>Fundentes</b>		
Fluorita	Fluidificar escoria, dar basicidad	-
Caolín	Formar escoria	Estabilizar el arco, dar resistencia al revestimiento
Talco	Formar escoria	-
Feldespato	Formar escoria	-
<b>Fundentes</b>		
Amianto	Estabilizar arco, formar escoria, aglomerar	-
Silicato de potasio	Formar escoria, aglomerar	Estabilizar el arco
Calcita(CO <sub>3</sub> Ca)	Dar protección gaseosa, estabilizar el arco	Dar basicidad a la escoria, agente oxidante
Magnesita (CO <sub>3</sub> Mg)	Dar protección gaseosa, estabilizar el arco	Dar basicidad a la escoria
Dolomita (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Mg	Dar protección gaseosa	Dar basicidad a la escoria

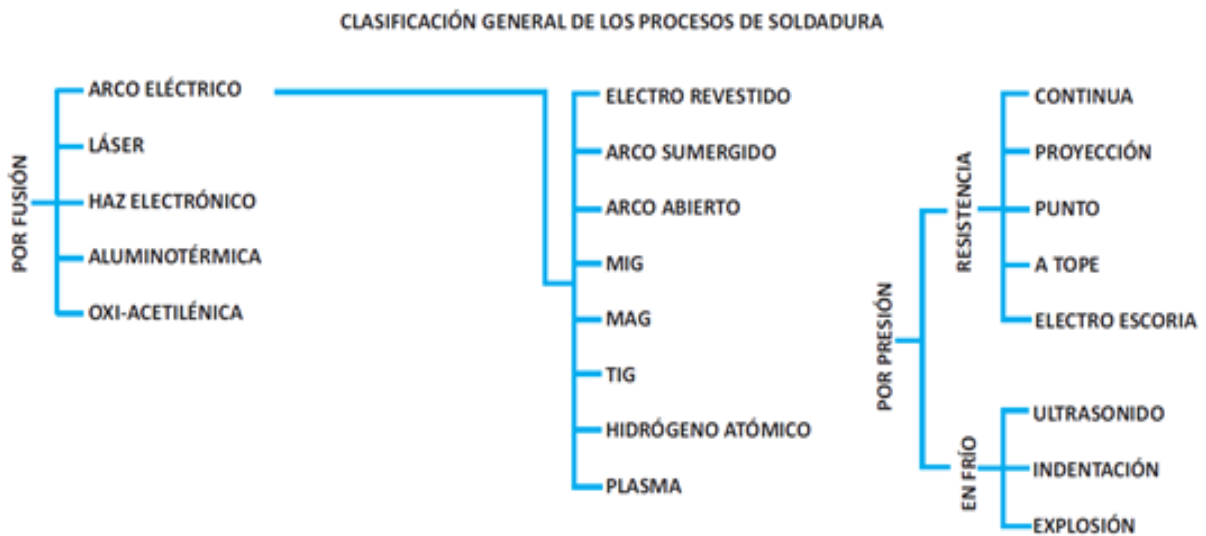
Materias primas	Función principal	Función secundaria
<b>Materias orgánicas</b>		
Celulosa	Dar protección gaseosa	Reductor, dar resistencia al revestimiento
<b>Metales</b>		
Feldespatos	Formar escoria, reductor	Reponer Mn al baño
Polvo de hierro	Aumentar el rendimiento	-
Ferroaleaciones y no ferrosos	Aportar elementos de aleación	-

Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)

## 2.2 CLASES DE SOLDADURA

En la *Figura 2-2* se puede apreciar la clasificación general de los procesos de soldadura:

**Figura 2-2.** Clasificación general de los procesos de soldadura



Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)

## 2.2.1 Soldadura por arco eléctrico manual con electrodo metálico revestido

La soldadura por arco eléctrico manual con electrodo revestido o simplemente *soldadura eléctrica*, es un proceso de unión por fusión de piezas metálicas; donde se concentra el calor de un arco eléctrico establecido entre los bordes de las piezas a soldar y una varilla metálica llamada electrodo, produciéndose una zona de fusión que al solidificarse forma la unión permanente.

### 2.2.1.1 Principio de funcionamiento de la soldadura por arco eléctrico

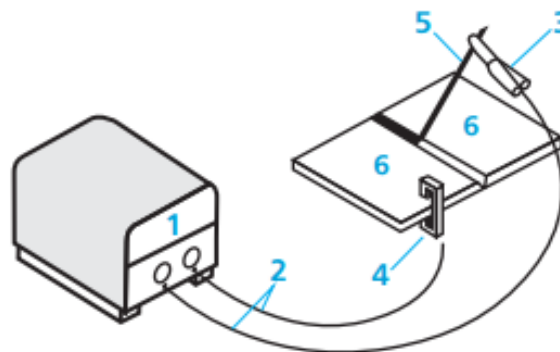
El circuito mostrado en la *Figura 2-3* se cierra momentáneamente, tocando con la punta del electrodo la pieza de trabajo y retirándola inmediatamente a una altura preestablecida, 1,5 - 3 mm formándose de esta manera un arco.

En la *Figura 2-3*:

- |  |                     |
|--|---------------------|
| 1. Generador de corriente<br>(fuente de poder) | 4. Masa o tierra    |
| 2. Cables de soldadura                         | 5. Electrodo        |
| 3. Porta – electrodo                           | 6. Pieza de trabajo |

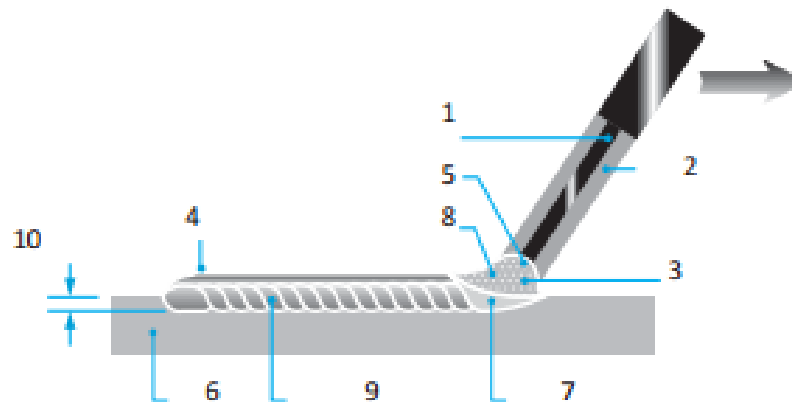
**Figura 2-3.** Partes del circuito de soldadura por arco eléctrico

El equipo consta de:



Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)

El calor funde un área restringida del material base y la punta del electrodo, formando pequeños glóbulos metálicos, cubiertos de escoria líquida los cuales son transferidos al metal base por fuerzas electromagnéticas, con el resultado de la fusión de dos metales y su solidificación a medida que el arco avanza, según puede verse en la *Figura 2-4*.

**Figura 2-4. Fusión del electrodo**

Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)

En la *Figura 2-4*:

- |                      |   |
|----------------------|---|
| 1. Núcleo metálico   | 7. Baño de fusión y cráter del metal base en fusión |
| 2. Revestimiento     | 8. Protección gaseosa                               |
| 3. Gota de formación | 9. Cordón depositado                                |
| 4. Escoria           | 10. Penetración                                     |
| 5. Arco eléctrico    |   |
| 6. Metal base        |   |

El arco eléctrico es muy brillante y emite rayos visibles e invisibles, algunos de los cuales causan quemaduras, ligeras lesiones a la piel y dolores temporales a los ojos, de ahí la importancia de protegerse debidamente.

### 2.2.1.2 Procesos

**Cuadro 2-2. Procesos soldadura por Arco eléctrico**

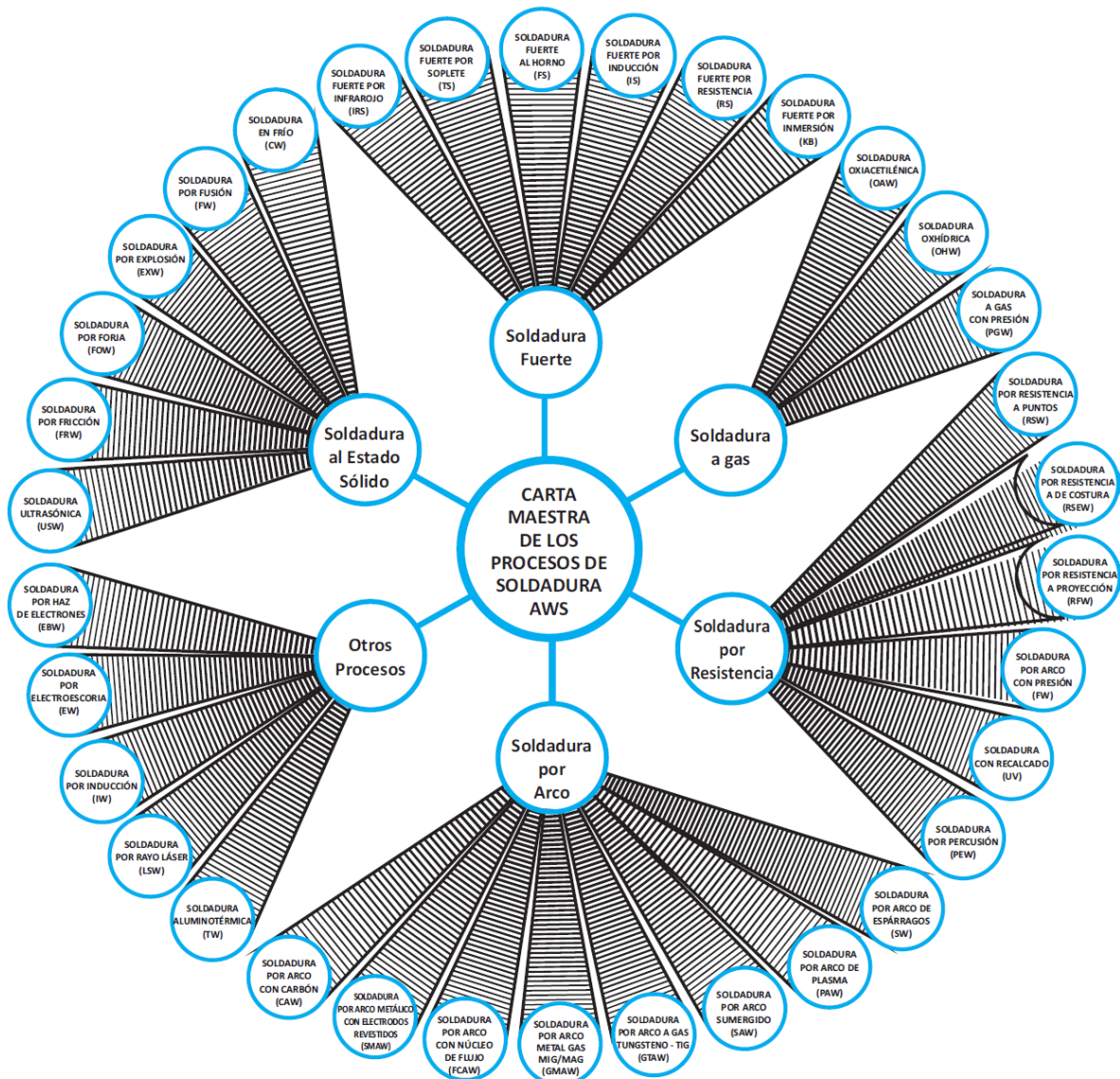
Denominación proceso	Significado
<i>SMAW: Shielded metal arc welding</i>	Soldadura por arco eléctrico revestido
<i>GMAW: Gas metal arc welding (MIG/MAG)</i>	Soldadura por arco eléctrico con alambre sólido y gas
<i>GTAW: Gas tungsten arc welding</i>	Soldadura por arco eléctrico con electrodo de Tungsteno y gas
<i>FCAW: Flux-cored arc welding</i>	Soldadura por arco eléctrico con alambre tubular



Denominación proceso	Significado
SAW: Submerged arc welding	Soldadura por arco eléctrico sumergido
OFW: Oxy-fuel welding	Proceso Oxi combustible

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-5. Carta maestra de los procesos de soldadura (AWS)



Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)

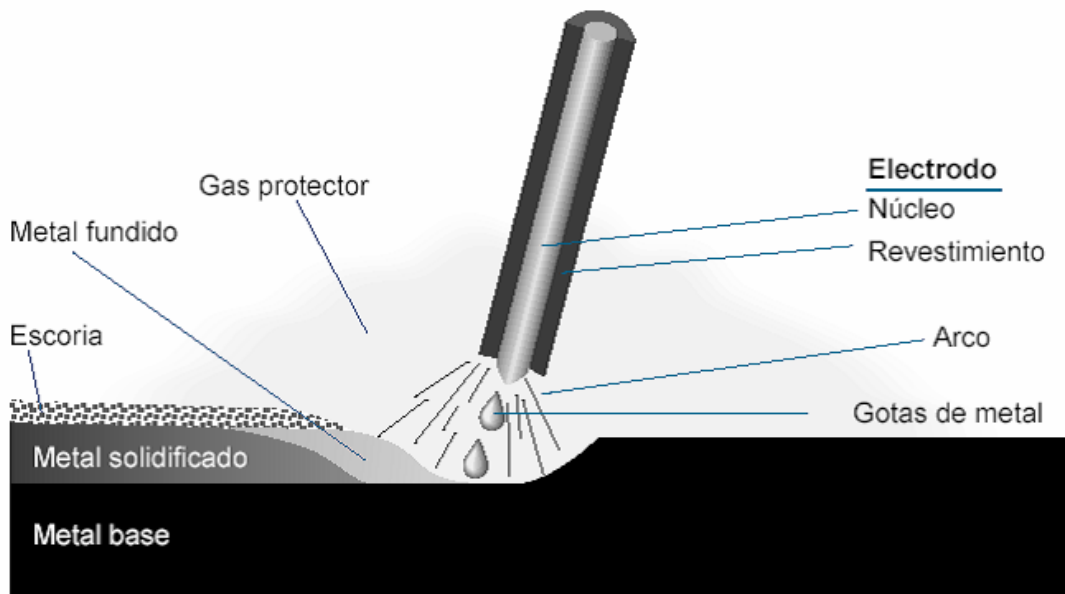


- **Soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido/SMAW**

La soldadura por arco de metal protegido SMAW (*Shielded metal arc welding*) es un proceso en el que se produce coalescencia de metales por medio del calor de un arco eléctrico sostenido entre la punta de un electrodo revestido y la superficie del metal base, en la unión que se está soldando. Cientos de variables de electrodos son producidos y a menudo contienen aleaciones para añadir durabilidad, resistencia y ductilidad a la soldadura. El proceso se utiliza principalmente para aleaciones ferrosas en estructuras de acero, la construcción naval, reparaciones, fabricación y mantenimiento en general. A pesar de la relativa lentitud del proceso debida a los cambios de electrodos y eliminación de la escoria, sigue siendo una de las técnicas más flexibles y ventajosas en áreas de acceso restringido.

Las gotas de metal fundido transferidas a través del arco desde el electrodo al charco de soldadura son protegidas del contacto con la atmósfera por los gases producidos en la descomposición del revestimiento del fundente (*Figura 2-6*). La escoria fundida flota en la superficie del charco de soldadura donde protege el metal de soldadura de la atmósfera durante la solidificación; la escoria debe ser removida después de cada ejecución de la soldadura.

**Figura 2-6.** Detalle del proceso de soldadura SMAW



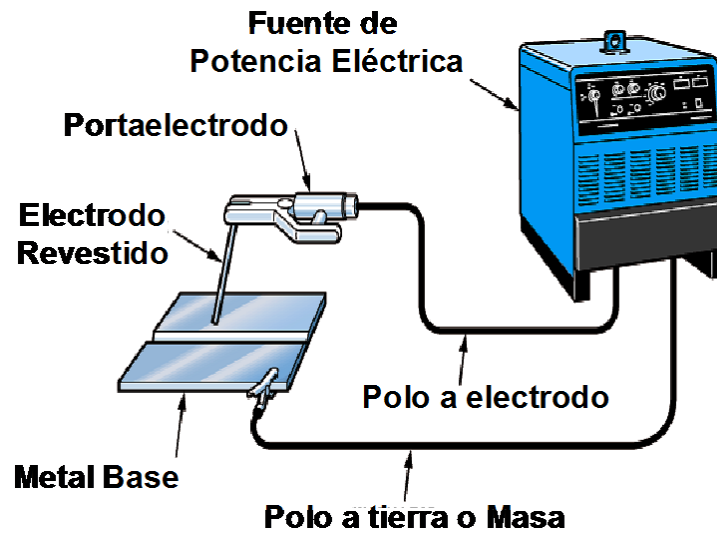
Fuente: Tomado de MONTAÑO (2004)

El núcleo del electrodo revestido consiste en una varilla de metal sólido de material estirado o colado, o bien de una varilla fabricada cuyo interior almacena metal en polvo recubierto por una funda metálica. La varilla del núcleo conduce la corriente eléctrica al arco y suministra el metal de aporte a la unión.

Las funciones principales del revestimiento del electrodo son: estabilizar el arco y proteger el metal fundido de la atmósfera por medio de los gases que se crean cuando el revestimiento se descompone a causa del calor generado por el arco voltaico. La protección empleada junto con otros ingredientes del revestimiento y del alambre del núcleo controlan en gran medida las propiedades mecánicas, la composición química y la estructura metalúrgica del metal de soldadura, así como las características del arco del electrodo; la composición del revestimiento de este último varía dependiendo del tipo de electrodo.

El arco se mueve sobre el elemento de trabajo a una longitud y velocidad de desplazamiento apropiadas, derritiendo y fusionando una porción del material base y añadiendo continuamente material aportante. Debido a que el arco es una de las fuentes de mayor poder calorífico -temperaturas mayores a 5000 °C (9000 °F)- en su centro, la fusión del material base se efectúa en forma casi instantánea al iniciarse el arco. Si la soldadura es ejecutada en posición plana u horizontal, la transferencia del material es inducida por la fuerza de la gravedad, la expansión del gas, fuerzas eléctricas y electromagnéticas, y la tensión superficial, en cambio, al ejecutarse en otras posiciones la gravedad actuará en contra de las demás fuerzas.

El proceso requiere suficiente corriente eléctrica para derretir tanto el electrodo como una cantidad adecuada del material base; además, requiere un espacio apropiado entre la punta del electrodo y el material base o el charco de soldadura. El tamaño y tipo de electrodos para la soldadura por arco de metal protegido definen los requerimientos de voltaje (dentro del intervalo global de 16 a 40 V) y de amperaje (dentro del intervalo global de 20 a 550 A) del arco. La corriente puede ser alterna o continua dependiendo del electrodo empleado, pero la fuente de potencia debe ser capaz de controlar el nivel de corriente dentro de un intervalo razonable para responder a la compleja variable del proceso de soldadura en sí. La *Figura 2-7* esquematiza cada uno de los componentes que se requieren en este proceso.

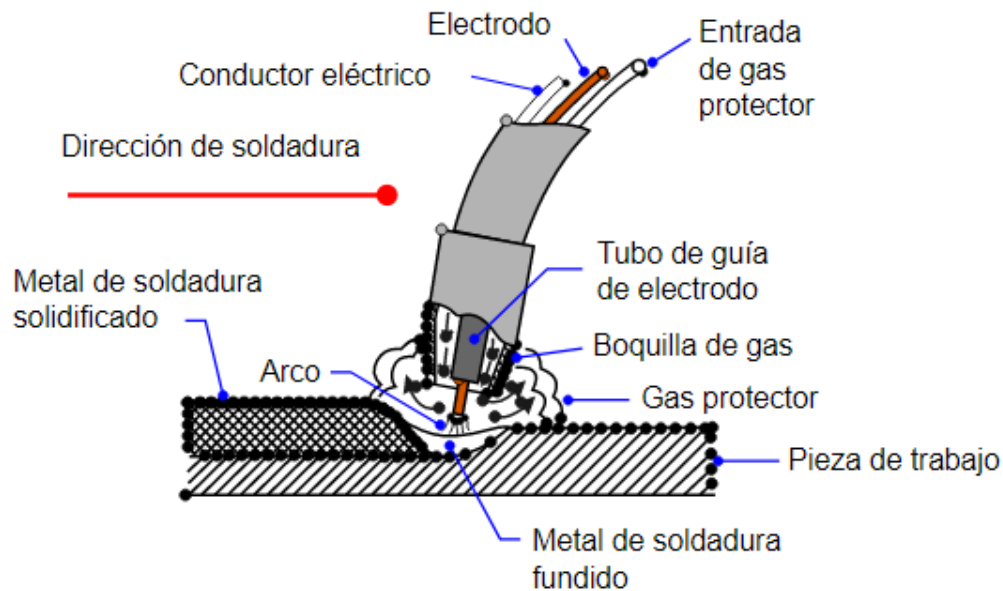
**Figura 2-7.** Componentes del equipo de soldadura SMAW

Fuente: Tomado de CORREA (2014)

- **Soldadura por arco eléctrico con alambre sólido y gas/GMAW (MIG/MAG)**

Existen dos clasificaciones en este proceso, las cuales son función del tipo de gas protector: el primero, MIG (*Metal inert gas welding*) emplea protección de un gas inerte puro (helio, argón, etc.) para metal no ferroso; el segundo, MAG (*Metal active gas welding*) hace uso de dióxido de carbono o mezcla de + Argón como gas protector para metal ferroso. Este es un proceso de soldadura por arco eléctrico donde el arco se forma entre un alambre de metal suministrado en forma continua y el material base para producir la fusión de ambos; el proceso emplea un gas para protección del área de soldadura (o mezcla de gases) que proviene de un contenedor externo y sin aplicación de presión alguna. La *Figura 2-8* esquematiza cada uno de los componentes que se requieren en este proceso.

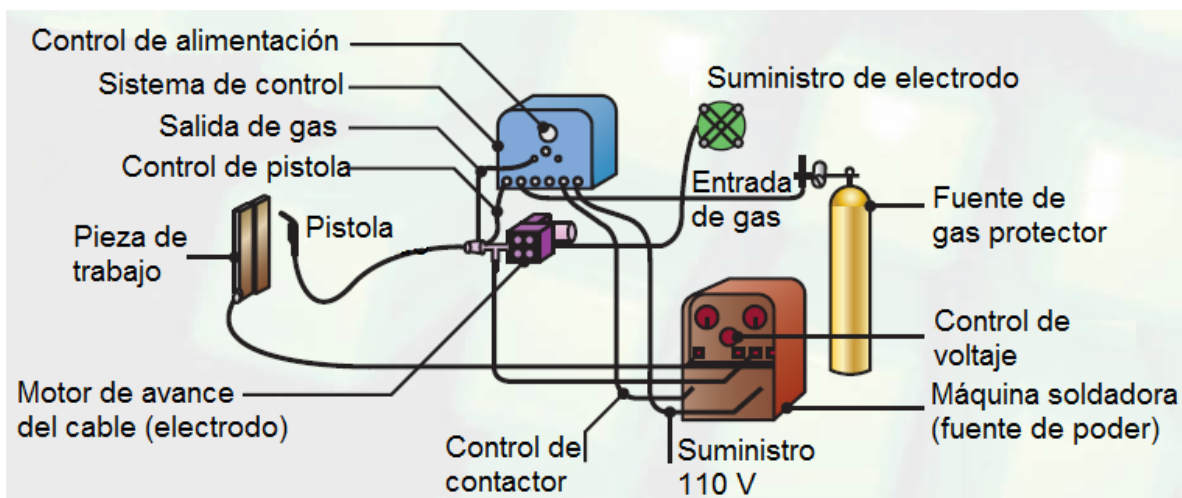
**Figura 2-8. Detalle del proceso GMAW**



Fuente: Tomado de HOLLIDAY et al. (1996)

En la *Figura 2-9* se ilustran los componentes que integran el equipo de soldadura GMAW, entre ellos encontramos: el cilindro de gas con su regulador y su medidor de flujo, la red tubular del gas de protección, los alimentadores automáticos de alambre, la fuente regulada de poder y el soplete con el cable de trabajo.

**Figura 2-9. Componentes del equipo de soldadura GMAW**



Fuente: Tomado de ME MECHANICAL (2014)

Los alambres utilizados en los procesos de soldadura tienen una serie de clasificaciones para que puedan ser reconocidos técnicamente en la industria, para el caso del proceso de soldadura MIG/MAG esta clasificación está dada por la AWS (*American Welding Society*) como se muestra en la *Figura 2-10*.

**Figura 2-10.** Clasificación AWS de los electrodos de la soldadura GMAW



Fuente: Tomado de LINCOLN ELECTRIC (2011)

Un aspecto muy importante e incluso determinante de los alambres usados en los procesos de soldadura son los gases de protección empleados en cada uno de ellos (complemento en la fusión limpia y segura).

Los gases empleados en el proceso de soldadura GMAW son:

- Dióxido de carbono
- Mezcla de argón/dióxido de carbono
- Mezcla de helio/argón/dióxido de carbono
- Argón
- Mezcla de helio/argón

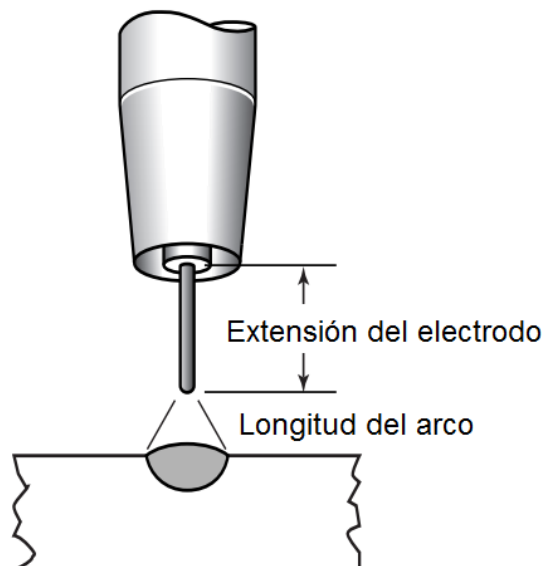
El *Cuadro 2-3* muestra las ventajas del uso de gases de protección durante los procesos de soldadura.

**Cuadro 2-3.** Ventajas de los gases de protección en un proceso de soldadura MIG-MAG

Transferencia	Gas	Ventajas
En aceros al carbono: Por corto circuito, Globular STT	100% CO <sub>2</sub>	Buena penetración Buena velocidad de avance Bajo costo
	75% Ar + 25% CO <sub>2</sub>	Menos salpicaduras Charco más fluido
En aceros al carbono: Por rociado / spray, Rociado pulsado	80% Ar + 20% CO <sub>2</sub>	Es la mezcla más económica Mayor velocidad de soldadura
	85% - 96% Ar + CO <sub>2</sub> (balance)	Mayor penetración Menos socavaduras

Fuente: Tomado de LINCOLN ELECTRIC (2011)

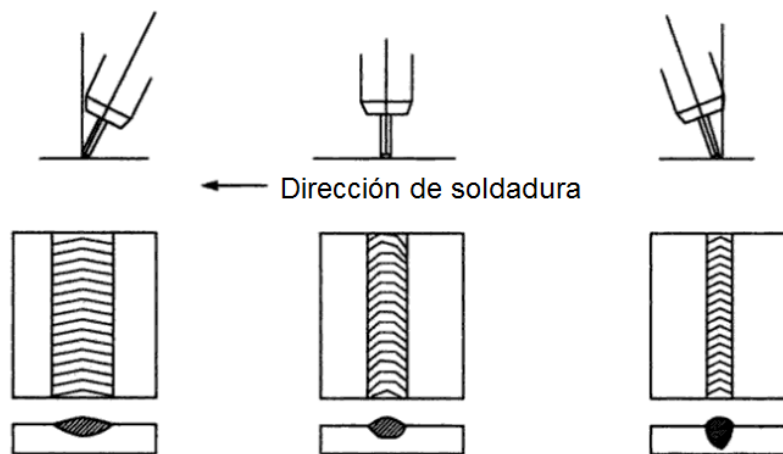
Para la realización del proceso de soldadura MIG-MAG se deben resaltar algunos aspectos relacionados con las boquillas utilizadas en el proceso, es así como la extensión del electrodo cumple una función vital durante la fusión del metal, permitiendo una mayor distancia en el arco que se forma, ver *Figura 2-11*.

**Figura 2-11.** Extensión del electrodo "Stickout"

Fuente: Tomado de LINCOLN ELECTRIC (2014)

Otro aspecto a destacar en este método es el del ángulo de la posición del soplete, ya que este ángulo de incidencia, optimiza la ejecución del cordón y el proceso de soldadura en general.

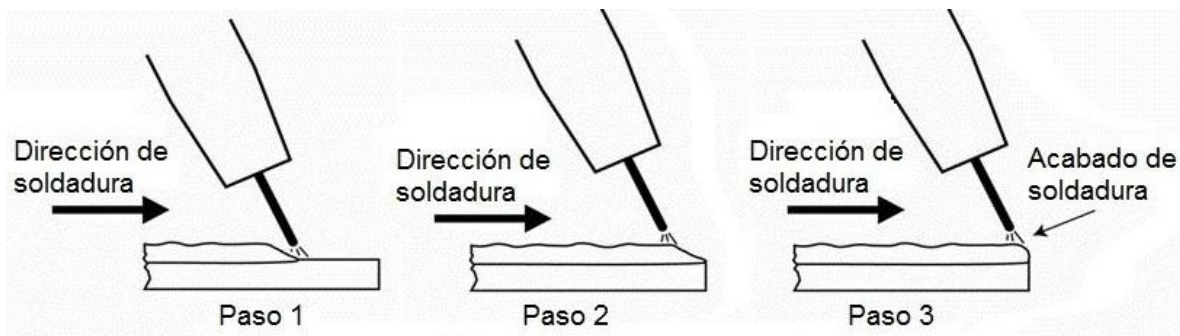
**Figura 2-12.** Efecto de la posición del electrodo en el proceso de soldadura MIG-MAG



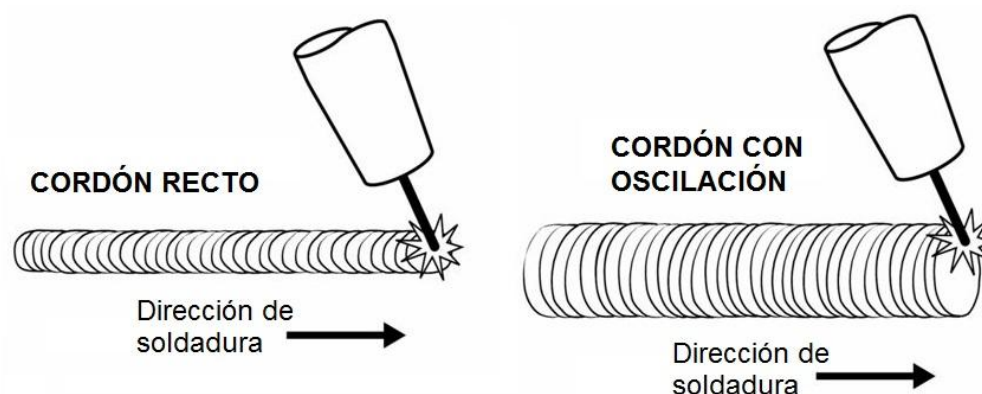
Fuente: Tomado de MANDAL (2002)

Las Figuras 3-13 y 3-14 muestran el inicio y el fin de la aplicación del cordón de soldadura y las técnicas empleadas para ello; el sentido y la dirección en que se ejecutan son determinantes en el acabado de la primera aplicación, para luego realizar la segunda. Esta técnica es parametrizada y ajustada en la máquina orbital de acuerdo al tipo de pase (aplicación) en el que se esté (como pase de raíz, de relleno o de presentación).

**Figura 2-13.** Inicio y fin (fulling cráter) del cordón de soldadura en el proceso MIG-MAG



Fuente: Tomado de NEWMAN (2015)

**Figura 2-14.** Técnicas de soldadura para el proceso MIG-MAG

Fuente: Tomado de NEWMAN (2015)

El Cuadro 2-4 presenta las ventajas y limitaciones del proceso de soldadura GMAW.

**Cuadro 2-4.** Ventajas y limitaciones del proceso de soldadura GMAW

Ventajas del proceso GMAW	Limitaciones del proceso GMAW
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicable en gran variedad de metales</li> <li>- Buen desempeño en todos los espesores</li> <li>- Es un proceso de alta eficiencia</li> <li>- Aplicable en cualquier posición de soldadura</li> <li>- Alta calidad de soldadura</li> <li>- No produce escoria</li> <li>- Bajo nivel de salpicadura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor portabilidad (cilindro de gas y mangueras)</li> <li>- Inadecuado para trabajo en campo (el gas es afectado por el viento)</li> <li>- El material a soldar o base debe estar libre de cualquier suciedad (polvo, óxidos, grasa, etc.)</li> <li>- Alta radiación en el modo de transferencia por Spray</li> <li>- Existe la posibilidad de falta de fusión en el modo de transferencia por corto circuito</li> <li>- Existe la posibilidad de socavación en el modo de transferencia por spray</li> </ul>

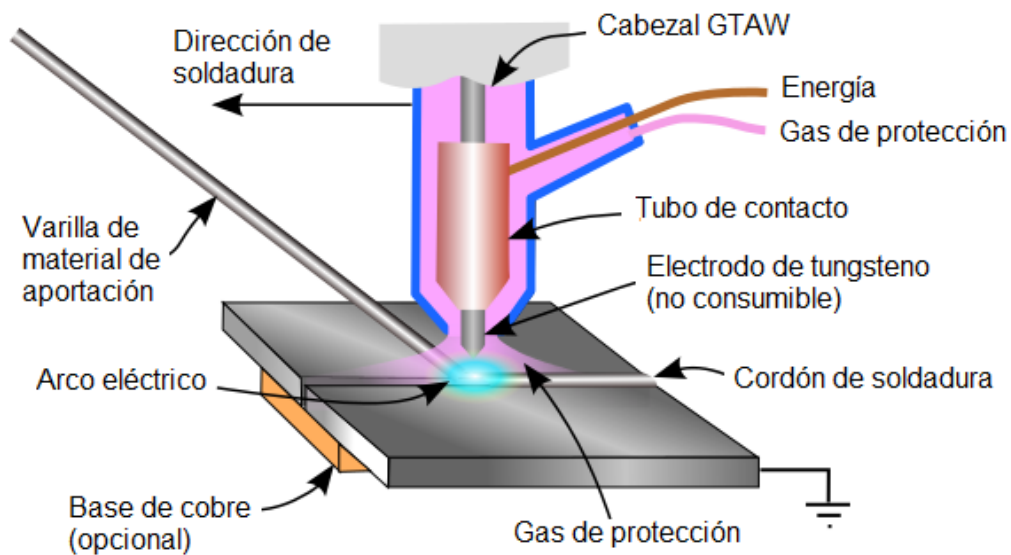
Fuente: Tomado de LINCOLN ELECTRIC (2014)



- **Soldadura por arco eléctrico con electrodo de Tungsteno y gas GTAW/TIG**

La soldadura GTAW (*Gas tungsten arc welding*) o soldadura TIG (*Tungsten inert gas*) es un proceso de soldadura por arco que utiliza un electrodo de *tungsteno* no consumible para producir la soldadura. El área de esta y el electrodo se protegen contra la oxidación u otra contaminación atmosférica mediante un gas de blindaje inerte (argón o helio), y un metal de relleno, aunque algunas soldaduras conocidas como autógenas no requieren de este último. Una fuente de alimentación de corriente constante produce energía eléctrica la cual es conducida a través de una columna de gas altamente ionizado y vapores metálicos conocidos como plasma. La *Figura 2-15* presenta el detalle y los elementos que hacen parte del proceso de soldadura GTAW.

**Figura 2-15.** Detalle del proceso de soldadura GTAW



Fuente: Tomado de DUK (2005)

**Gas de protección:** El propósito principal del gas de protección es evitar el contacto del aire del medio ambiente con nuestro charco metálico. El gas también tiene influencia en la estabilidad, características y comportamiento del arco y por consiguiente del resultado de nuestro depósito de soldadura.

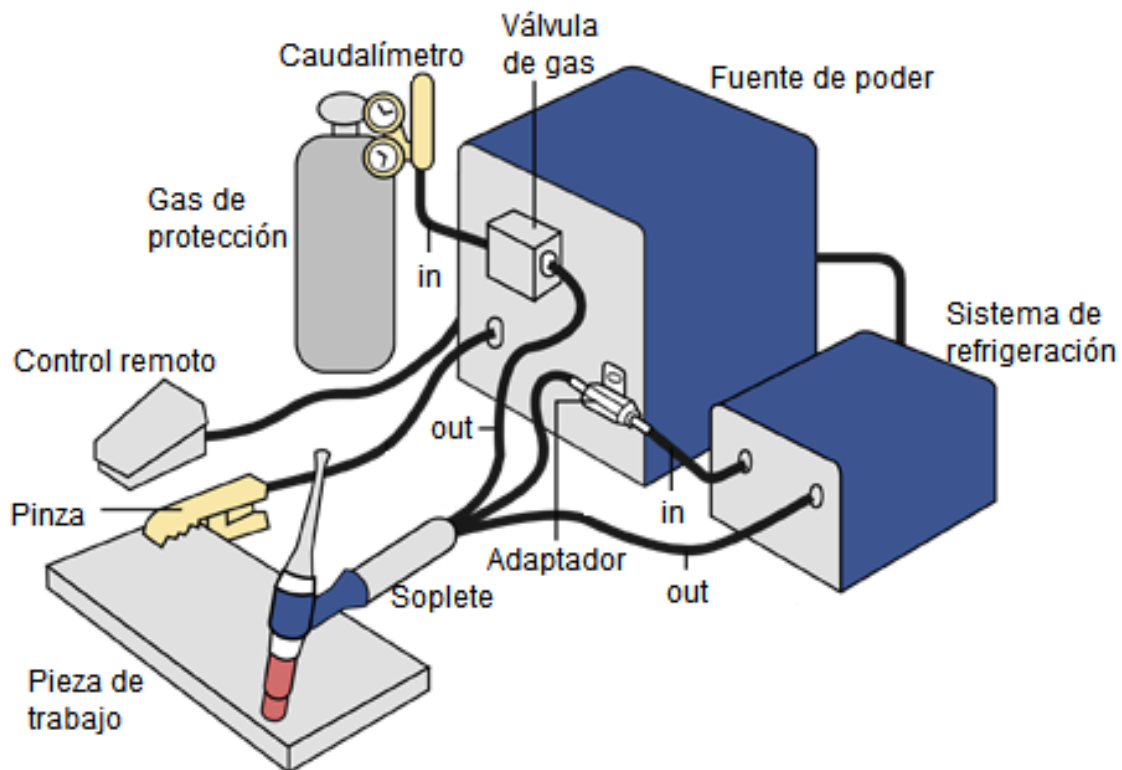
## Gas inerte

**Argón:** El argón es de 1 a 12 más pesado que el aire y aproximadamente 10 veces más pesado que el helio. Después de salir de la tobera el argón tiende a formar una campana protectora sobre el área de la soldadura, en cambio el helio tiende a subir rápidamente. Debido a la baja conductividad térmica del argón, la zona de la soldadura es más estrecha que con el helio como gas de protección. El argón proporciona una excelente estabilidad del arco.

**Helio:** El helio tiene una excelente conductividad térmica, por lo cual el arco es más caliente, y la penetración va a ser mayor que con argón, sin embargo debido a que el helio es más liviano, se requiere un flujo de gas unas tres veces mayor que con argón. El helio se prefiere cuando se van a soldar espesores gruesos de materiales con alta conductividad térmica como el aluminio y cobre.

En la *Figura 2-16* se aprecian los componentes del equipo de soldadura GTAW.

**Figura 2-16.** Componentes del equipo de soldadura GTAW



Fuente: Tomado de SWARTZ & HEMMERT (2008)

### **Ventajas**

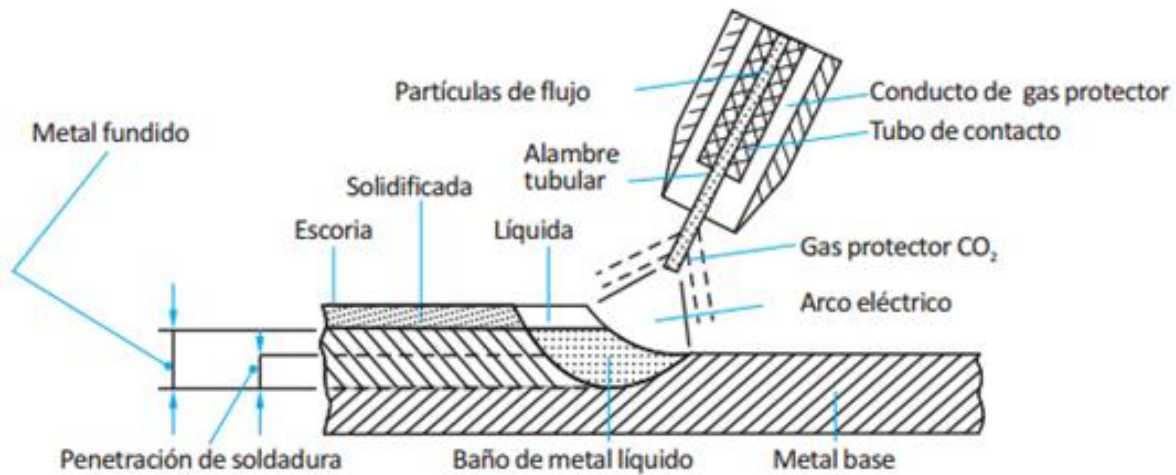
- No produce escoria
- Se puede soldar todo tipo de materiales
- Trabaja con o sin metal de aporte
- Deja pocas discontinuidades
- Alto aprovechamiento del metal de aporte.
- Se puede soldar espesores delgados
- Se puede soldar en cualquier posición
- Hay menos posibilidad de grietas por presencia de hidrógeno
- Se puede soldar metales sin necesidad de fundentes

### **Limitaciones**

- Requiere alta habilidad del soldador
- Por ser de protección gaseosa se corre el riesgo de perderla debido a corrientes de aire.
- El argón es costoso
- No es un proceso para alta producción

#### **▪ Soldadura por arco eléctrico con alambre tubular /FCAW**

La soldadura FCAW (*Flux-cored arc welding*) es un proceso automático o semi automático en el que la fusión se logra mediante un arco producido entre un electrodo tubular (alambre consumible) y una pieza. La protección se obtiene de un fundente contenido dentro del alambre tubular, siendo innecesario el suministro de gas externo como protección adicional. La *Figura 2-17* muestra el proceso en el que se emplean el alambre con núcleo de flujo, la envoltura de gas protector, el arco, el metal de soldar y la protección con la escoria.

**Figura 2-17.** Detalle del proceso de soldadura FCAW

Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)

### **Características del proceso**

Los principales elementos del equipo requerido para el proceso son: la máquina de soldar (fuente de poder), el sistema para avance del alambre y los controles, la pistola y los cables (Torcha) y el alambre con núcleo de fundente. El alimentador lleva el alambre tubular automáticamente desde un carrete o bobina, vía ensamblaje de cable y pistola, al arco. La velocidad de alimentación del alambre determina la cantidad de corriente suministrada al arco. De esta manera, el control de velocidad de alimentación es esencialmente el ajuste de la corriente de soldar. Se emplea una pistola y cables para conducir el alambre, el gas (cuando es necesario) y la corriente de la fuente de poder al arco. El alimentador de alambre.- la pistola de soldar.

Están disponibles pistolas con cuello de cisne o pistolas con agarradera. Para ciertas aplicaciones se monta un aditamento especial en la pistola, para proporcionar velocidades más altas de deposición. Esto incluye una extensión aislada que, en cierto sentido, contribuye a un rendimiento más efectivo del alambre.

**Gas de protección:** El gas protector desaloja el aire alrededor del arco, previniendo la contaminación por oxígeno e hidrógeno de la atmósfera.

**Alambre:** Hay que seleccionar el tipo de alambre tubular de acuerdo a la aleación, composición y nivel de resistencia del metal base a soldarse. Están disponibles varios diámetros para permitir la soldadura en diferentes posiciones. Los alambres están disponibles en carretes y bobinas y están empaquetados en recipientes especiales para protegerlos de la humedad. En la soldadura por Arco Metálico con Gas, conocida como Proceso MIG/MAG, la fusión es producida por un El Gas de Protección.- arco que se establece entre ellos.

### ***Ventajas del proceso***

Soldaduras suaves y sanas. Penetración profunda. Buenas propiedades para radiografía. Sin la protección exterior del gas ofrece las siguientes ventajas: Eliminación del gas externo de protección. Penetración moderada. Posibilidad de soldar en corriente de aire. Metal depositado de alta calidad. Tiene las siguientes características: El operador puede ver el arco. La soldadura es posible en todas las posiciones lo que depende del diámetro del alambre empleado. Se puede hacer cualquier tipo de junta en función al espesor de plancha

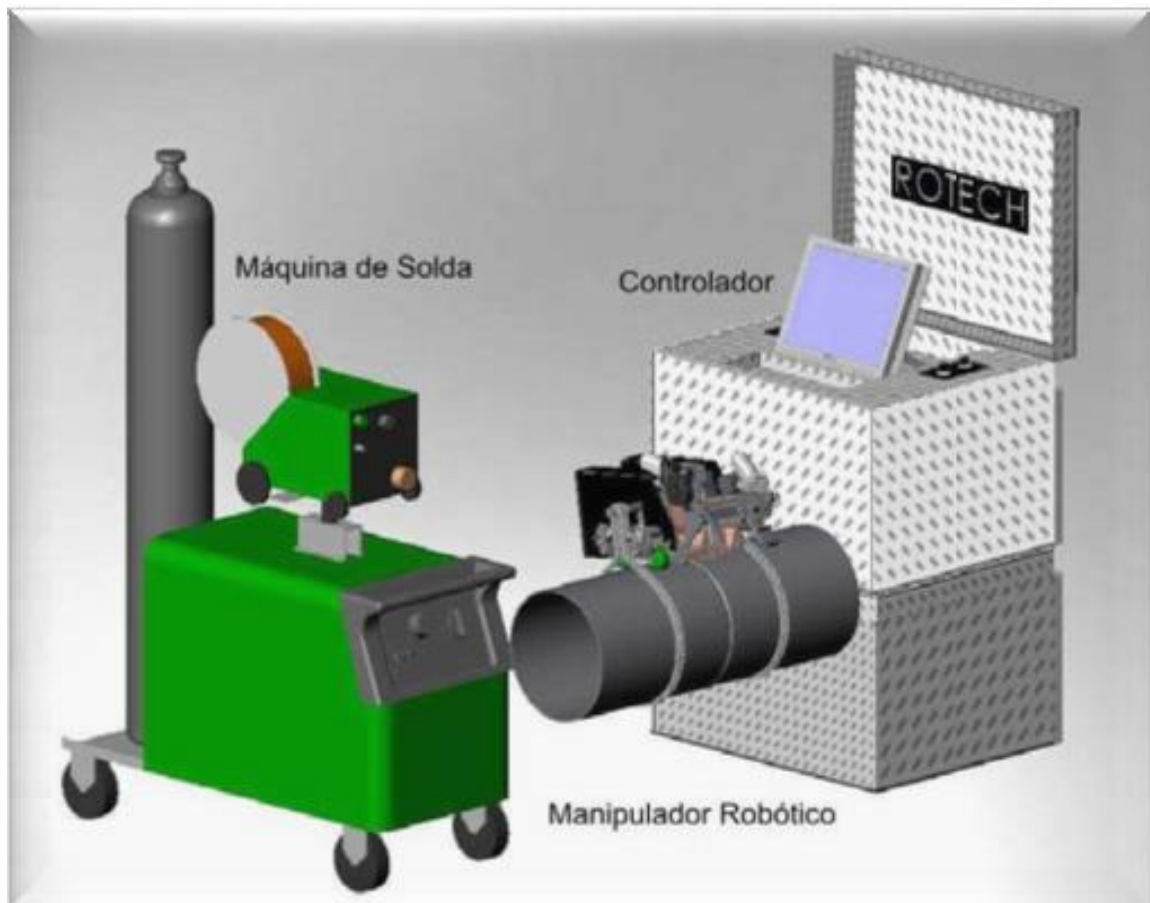
## **2.3 CONCEPTO Y APLICACIÓN DE SOLDADURA MECANIZADA**

Otro método de soldadura poco usada en la industria petrolera colombiana es la soldadura *mecanizada* o robotizada en el cual se usan herramientas programables mecanizadas (robots), con las que se lleva a cabo un proceso de Soldadura completamente automático, tanto en la operación de soldeo como sosteniendo la pieza. Procesos tales como Soldadura GMAW, FCAW a menudo automatizado, no son necesariamente equivalentes a la soldadura robotizada, ya que el operador humano a veces prepara los materiales a soldar. Generalmente, la soldadura robotizada se usa para la Soldadura por puntos y la Soldadura por arco se aplica en producción a gran escala. Es en realidad un proceso para soldar circularmente una pieza cilíndrica fija o fijada en un soporte (conductos, tuberías, etc.) Para este propósito, la torcha se desplaza sobre una guía y recorre la pieza de manera circular, como orbitan los satélites alrededor de la tierra.

Con esta técnica de soldadura se esperan resultados reproducibles y de alta calidad, por esta razón se emplea el proceso de soldadura GMAW/TIG – GTAW /FCAW Usando las herramientas para cada tipo de trabajo, se puede lograr un incremento de la velocidad, manteniendo la alta de calidad del proceso; prácticamente sin retrabajos, ya que trabaja un operador sobre un sistema mecanizado y nos independizamos de la destreza requerida en un soldador (muy escaso y de alto costo en el mercado). Esto genera un aumento de la productividad y costos competitivos para la fabricación o reparación.

Este proceso se conoce como “Soldadura orbital” “es en realidad un proceso para soldar circunferencialmente una pieza cilíndrica fija o fijada en un soporte (conductos, tuberías, etc.). Para este propósito, la torcha se desplaza sobre una guía y recorre la pieza de manera circular, como orbitan los satélites alrededor de la tierra.

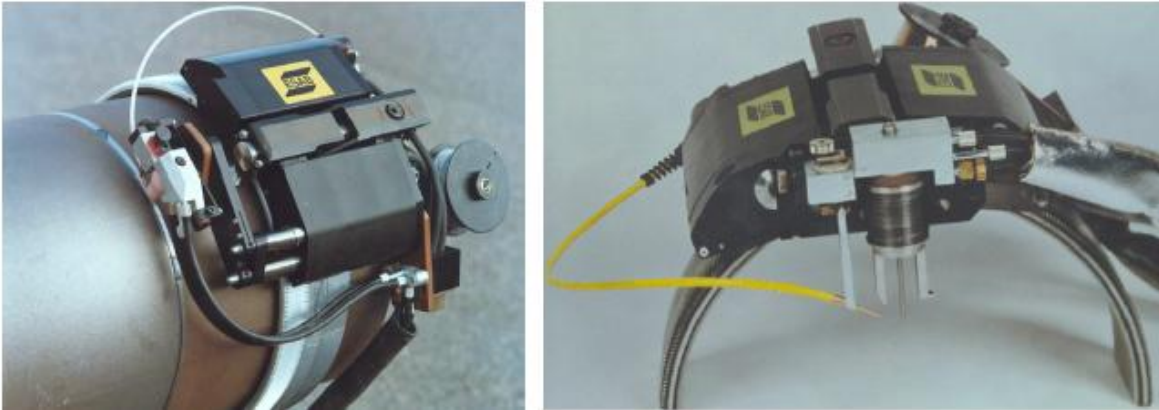
**Figura 2-18.** Sistema de robot para soldadura orbital de tuberías



Fuente: Tomado de FELIZARDO, BRACARENSE, FAGUNDES, & LOPES (2007)

Las máquinas orbitales (*Imagen 2-2*) constan de dos partes: el controlador, manipulador soldadura. El controlador es el encargado de realizar tareas relacionadas con el proceso de soldadura y a su vez robótico, como la máquina de soldar; el manipulador está diseñado para ser compacto, ligero, de fácil manejo, y transporte y que se pueda tener una adaptación en el tubo.

**Imagen 2-2. Máquinas orbitales**



*Fuente: Tomado de ESAB (2009)*

#### *Requerimientos del equipo automático*

Mecanismo incorporado para la velocidad de traslación, capaz de proveer una velocidad uniforme y regulable. Un sistema de alimentación de alambre con control de velocidad que permita el avance y retroceso del alambre simulando la acción del soldador manual. Esto se logra a través de un microprocesador, que también integra el monitoreo de la longitud de arco constante y por lo tanto, controla automáticamente la tensión de arco. El sistema también comanda la corriente de soldadura, el caudal de gas, la velocidad de giro, la pulsación de arco y oscilación para llenar correctamente el bisel de la junta que se está ejecutando.

#### *Factores principales que influyen en el cordón durante la soldadura orbital*

- Preparación de las superficies a soldar
- Alineación de las superficies a soldar
- Alineación de los tubos
- Gas de protección y de respaldo
- Afilado del electrodo de tungsteno
- Tobera
- Distancia entre el electrodo de tungsteno y la pieza
- Centrado del dispositivo de gas de respaldo
- Condiciones ambientales (temperatura, lugar)
- Aceros y aleaciones posibles de soldar
- Aceros comunes , baja y mediana aleación
- Aceros inoxidables , dúplex y súper dúplex
- Titanio
- Aceros de níquel
- Bronces y sus aleaciones

*Posibilidades casi ilimitadas*

Soldadura de dos tubos de diferente diámetro (*Imagen 2-3*), son posibles de realizar con TIG orbital en filete.

**Imagen 2-3.** Soldadura en tubos de diferente diámetro



Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)

Los tubos de caldera (*Imagen 2-4*) se sueldan a menudo usando oscilación o con control de altura de arco (AVC).

**Imagen 2-4.** Tubo de caldera



Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)

Las aleaciones de cobre (*Imagen 2-5*) son difíciles de soldar manualmente, pero posibles con TIG orbital.



**Imagen 2-5.** Soldadura en aleación de cobre



Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)

Pueden soldarse espesores gruesos (*Imagen 2-6*) hasta un máximo de 80mm en acero de baja aleación, inoxidable, dúplex o súper- dúplex.

**Imagen 2-6.** Soldadura en elementos gruesos



Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)

Soldadura de tubos de materiales disímiles (*Imagen 2-7*) como acero de baja aleación y el acero inoxidable son posibles con TIG Orbital.

***Imagen 2-7. Soldadura entre materiales disímiles***



*Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)*

***Imagen 2-8. Acabados de calidad con soldadura mecanizada***



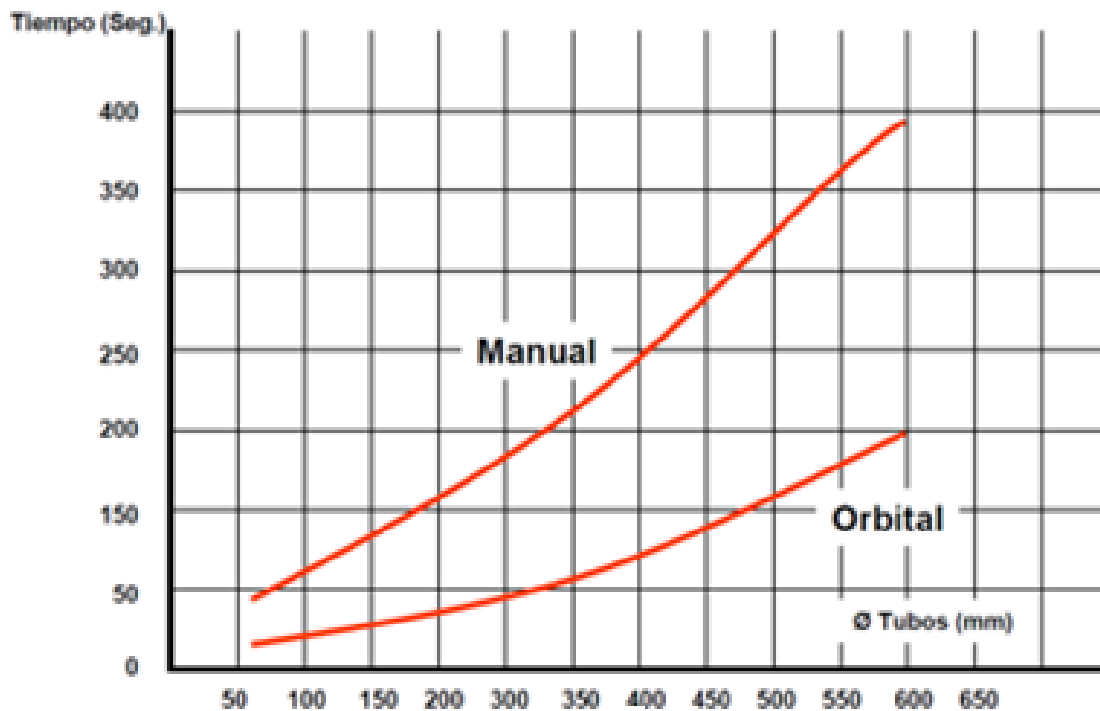
*Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)*

#### *Ventajas competitivas de soldadura mecanizada*

- Soldadura de alta calidad
- Repetitividad del procedimiento
- Menor nivel de rechazos
- Alta productividad del sistema
- Menor costo y tiempo de ejecución

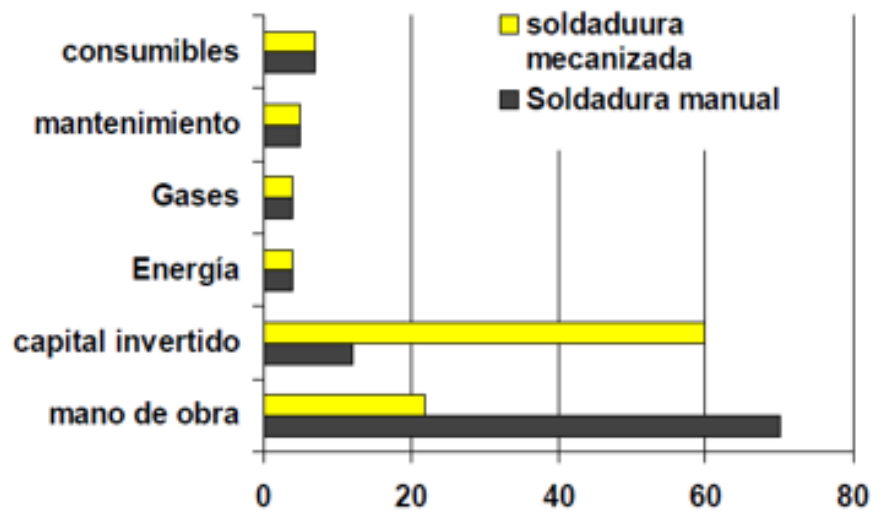
- Posibilidad de planificar la producción
- Acceso a lugares incómodos
- Control de parámetros y en tiempo real
- Facilidad para aprobar la calificación
- La misma calidad en el taller y en obra
- Flexible y fácil de usar para un amplio rango de aplicaciones
- Sectores con parámetros de soldadura programables
- Guarda y almacena en memoria los parámetros de soldadura
- Soporte en servicio, manejo, conocimiento de procesos y programación
- Software en varios idiomas

**Gráfico 2-1.** Ventajas competitivas de soldadura TIG mecanizada (Orbital)



Fuente: Tomado de ESAB (2009)

**Gráfico 2-2.** Costos de Soldadura TIG Manual Vs. TIG mecanizada



Fuente: Tomado de ESAB (2009)

*Campo de aplicación de la soldadura mecanizada*

**Figura 2-19.** Campos de aplicación de la soldadura mecanizada



Fuente: Tomado de ESAB (2009)

Otros campos de aplicación incluyen: refrigeración, aeronáutica y aeroespacial, instrumentación y control.

## 2.3.1 Requerimientos del proceso

### 2.3.1.1 Diseño de junta

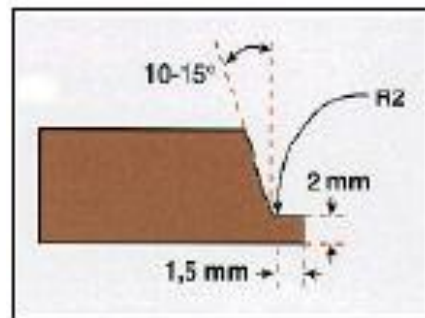
Uno de los obstáculos a superar es la acción de la fuerza de la gravedad en el baño de fusión. Esto se logra con la adecuada programación del equipo orbital; el proceso permite por lo tanto que todas las posiciones sean posibles de soldar con este tipo de equipamiento y sus sistemas interactivos.

**Figura 2-20.** Junta a tope: max 3 mm



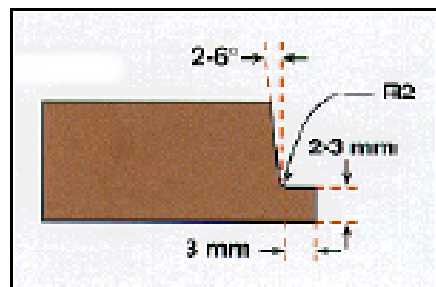
Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)

**Figura 2-21.** Junta en U 3 mm y más

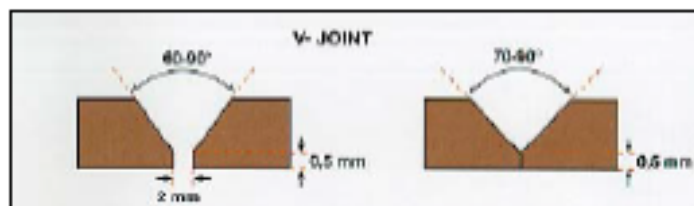


Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)

**Figura 2-22.** Junta N-G 6mm y más



Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)

**Figura 2-23. Junta en V**

Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)

La junta en V (Figura 2-23) no es recomendada, dado su alto riesgo de falla en la raíz.

### 2.3.1.2 Gases

**Cuadro 2-5. Requerimientos del proceso**

GASES DE PROTECCIÓN		
Ar; He – Ar+He	Todo tipo de material	
Ar+H <sub>2</sub>	Acero austenítico al Mn	
GASES DE RESPALDO		
Ar; He – Ar+He	Todo tipo de material	
Ar+H <sub>2</sub>	Acero austenítico al Mn Aleaciones base Ni	
N <sub>2</sub> +H <sub>2</sub>	Acero austenítico al Mn (no estabilizado con Ti)	
N <sub>2</sub>	Aceros austeníticos al Cr-Ni Aceros inoxidables dúplex y súper dúplex	

Fuente: Tomado de ESAB (2009)

### 2.3.1.3 Máquina de corte y biselar en frío

La máquina de corte y biselado en frío cuenta con una alta tasa de remoción de metal, es fácil de manejar y está hecha de manera compacta y resistente cuenta con un amplio rango de ajuste y un ajuste fácil. El equipo de corte en frío portátil para tubos evita cualquier zona afectada por calor (*HAZ - heat affected zone*) y fue diseñada especialmente para corte en frío de tubos de acero en aplicaciones para

trabajo pesado en sitio y fuera del sitio. La alta velocidad de trabajo y la preparación para uso rápida permite la fabricación económica de estas máquinas.

Es versátil en cuanto a aplicaciones y puede realizar muchas operaciones. La máquina para cortar y biselar tubo y tubería puede maquinarse diámetros desde 2 pulgadas hasta 66 pulgadas de diámetro exterior y para un espesor de pared de hasta 80 mm. Las máquinas tipo construcción dividida pueden montarse en tendidos ensamblados de tuberías. Hay disponible equipo especial como control remoto para operaciones de soldadura de tubería con acceso limitado.

En la práctica se ha probado que la preparación para soldadura de los extremos de tubos tiene una influencia mayor en la calidad de la unión de soldadura. Para aplicaciones de soldadura con tuberías de pared pesada y para tecnología de soldadura tubo orbital el ingeniero soldador requiere hoy en día una preparación de soldadura perfecta y efectiva en el proceso de soldadura de tubos al usar una preparación de soldadura mecanizada, siendo ligera, la máquina es impulsada por motores neumáticos, eléctricos o hidráulicos y se puede controlar con un solo operador.

Las máquinas cortadoras y biseladora de tubos y tuberías han reemplazado hoy en día el uso de sopletes, cortador de cadena y triturador debido a su productividad, precisión y alto nivel de seguridad.

▪ **Las ventajas de las máquinas para cortar y biselar tubo y tuberías son numerosas**

- La máquina puede hacer cualquier tipo de bisel en sitio (30°, bisel interno o Bisel-J)
- Se puede trabajar en áreas restringidas o estrechas
- Incrementan la productividad y reducen los costos de mano de obra, sin trabajo adicional o triturado requerido
- El no tener llamas o chispas significa MENOS riesgo de incendio o explosión al trabajar en tuberías de gas.
- Existen diversidad de máquinas dependiendo de la aplicación, material del tubo, tamaño del tubo y el espesor de pared.

La cortadora de tubería está diseñada de manera compacta con componentes de aleación de aluminio, la cual trae enormes beneficios para el usuario final.

La máquina es muy compacta para operaciones con acceso limitado y con un peso reducido para un trabajo más ergonómico.

**Imagen 2-9.** Máquina Cortadora y biseladora



Fuente: Tomado de DWT PIPE TOOLS (2016)

#### *Ventajas*

- La tecnología de doble bastidor para tubos sin fin
- Máquina de muy bajo peso
- Compacta para un espacio restringido
- Fijación y alineación rápida y segura
- Preparación perfecta de la costura de soldadura
- Reducción de peso para un trabajo más cómodo
- Alta productividad
- No hay zonas sensibles al calor

#### **2.3.2 Técnica de deposición de metal pase de raíz /RMD**

La técnica RMD (*Regulated metal deposition*) mejora la calidad y la productividad de la soldadura en tubos de acero. El proceso de RMD es fácil de aprender y aborda la escasez de soldadores, proporcionando un proceso más fácil que hace más trabajo hecho más rápido y con una calidad superior. La transferencia de metal controlada con precisión proporciona una deposición uniforme de las gotitas, facilitando al soldador el control del charco. Fácilmente puentes brechas hasta 3/16-in. Y crea un refuerzo de raíz más consistente en el interior de la tubería. El gas de protección sale de la pistola relativamente intacto, empujando a través de



la abertura de la raíz y evitando el azúcar en la parte posterior de la soldadura. RMD mantiene una longitud de arco constante sin importar el stick-out. La cantidad de paso de raíz depositada en el metal será suficiente para suministrar los requerimientos de entrada de calor del primer MIG Pulsado o paso de llenado de flujo, posiblemente eliminando la necesidad de un paso caliente TIG. El mismo hilo y el mismo gas de protección se pueden usar para el llenado y tapa pases usando un proceso MIG Pulsado de siguiente generación llamado Pro-Pulse, que mejora las velocidades de desplazamiento y las tasas de deposición mientras reduce la entrada de calor.

**Imagen 2-10. Proceso RMD**



*Fuente: Tomado de MILLER ELECTRIC MFG. CO. (2017)*

Los fabricantes de tubos son particularmente escépticos acerca del cortocircuito GMAW, y con razón. Con el GMAW tradicional, los cortocircuitos se producen a intervalos erráticos y con intensidad variable. Como resultado, el charco de soldadura experimenta una gran agitación. Para evitar la vuelta fría, o la falta de la fusión, el operador debe trabajar para controlar y para manipular el charco de la soldadura. El vídeo de alta velocidad demuestra cómo la "explosión" de cortocircuito hace que el charco de soldadura salpique y se congele en la pared lateral de la tubería, que es la forma en que se produce la vuelta en frío.

También conduce a salpicaduras y tiempo de limpieza extensa. Debido a que se necesita mucha habilidad para producir soldaduras de raíz de calidad de código con el tradicional cortocircuito GMAW, muchos fabricantes evitan el proceso y muchos usuarios finales no lo incluyen en su lista de procedimientos aprobados. Afortunadamente, los avances tecnológicos están cambiando el juego.

Con la tecnología RMD, el sistema de soldadura anticipa y controla el cortocircuito, luego reduce la corriente de soldadura disponible para crear una transferencia de metal consistente. La transferencia de metal controlada con precisión proporciona una deposición uniforme de gotas, lo que facilita que el soldador controle el charco. El vídeo de alta velocidad demuestra que los cortocircuitos estables crean sólo ondulaciones pequeñas en el charco de soldadura, lo que a su vez permite un empalme consistente en la pared lateral. Con un charco de soldadura estable y controlable, los aprendices pueden aprender rápida y fácilmente a crear soldaduras uniformes de alta calidad.

### **Ventajas**

El proceso de RMD también proporciona varios otros beneficios. En primer lugar, la transferencia de metal lisa compensa una desalineación alta-baja entre secciones de tubería. Fácilmente puentea brechas de hasta 3/16 pulgada. En segundo lugar, la transferencia de metal suave crea un refuerzo de raíz más consistente en el interior de la tubería.

En tercer lugar, el gas de protección que sale de la pistola permanece relativamente intacto por la transferencia controlada. Como resultado, suficiente gas protector se empuja a través de la abertura de la raíz para evitar la formación de azúcar (oxidación) en la parte posterior de la soldadura. Algunos fabricantes tienen procedimientos calificados para soldar algunos de los aceros inoxidables de la serie 300 sin gas de refuerzo, mejorando la productividad en hasta 400 por ciento (las tuberías de gran diámetro tardan mucho en purgarse y el gas es costoso).

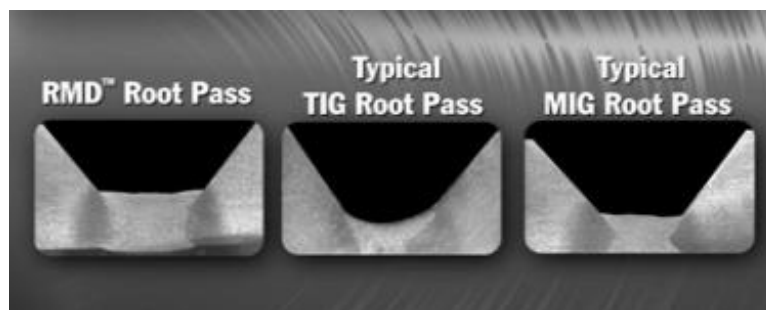
Cuarto, el proceso RMD mantiene una longitud de arco constante independientemente de la posición del electrodo. Compensa a los operadores que tienen problemas de mantener un *stick-out* constante, y permite una mejor visión del charco de soldadura.

Tenga en cuenta que a medida que los operarios aprendices soldán desde la posición de las 4 a las 6 en punto, tienden a incrementar su alambre. Con la

tecnología más antigua, un largo *stick-out* sesga los parámetros de soldadura y, a menudo, conduce a problemas de calidad.

En quinto lugar, RMD crea una soldadura de paso de raíz con un 1/8 a 1/4-in. Garganta. En muchos casos, la cantidad de paso de raíz depositada en metal será suficiente para soportar los requerimientos de entrada de calor del primer paso de llenado GMAW o FCAW pulsado. Los fabricantes pueden eliminar el pase caliente de GTAW, ahorrando alrededor de \$ 15 en un tubo de 12 pulgadas., Horario 40.

**Figura 2-24.** Pase de Raíz con diferentes técnicas



*Fuente: Tomado de MILLER ELECTRIC MFG. CO. (2017)*

El proceso RMD deposita más metal que otros procesos. Puede eliminar la necesidad de un paso caliente, ahorrando aproximadamente \$ 15 por junta (basado en un 40 de horario, tubería de 12 pulgadas de diámetro). Los resultados incrementados del grosor del paso de la raíz no son dependientes del material. Esta foto fue tomada usando el acero de carbón; Resultados similares se producirán con acero inoxidable.

Finalmente, se puede usar el mismo alambre y gas de blindaje para los pasos de llenado y tapón usando un proceso GMAW de próxima generación llamado Pro-Pulse™. Este proceso mejora el rendimiento y la aceptación del operador en comparación con la soldadura pulsada tradicional, y mejora tanto las velocidades de desplazamiento como las velocidades de deposición al mismo tiempo que disminuye la entrada total de calor.

#### ***Ventajas de RMD-PRO en aplicaciones de paso de raíz***

- Excelente control de la soldadura, eliminando el traslape frío.
- Se adapta rápidamente a los cambios de “Stick-Out”

- El arco es estable aún más allá de 1 pulgada de “*Stick-Out*”
- Puede eliminar el paso caliente, los depósitos de soldadura en la raíz son lo suficiente para ir directamente a los pasos de relleno
- Los programas son Sinérgicos
- Ajuste la Velocidad de Alambre (WFS)
- Ajuste TRIM (ajuste de arco) si es necesario
- Es difícil salir de las condiciones de soldadura deseables
- Se requiere menos tiempo de entrenamiento para los soldadores
- Para aplicaciones en Acero Inoxidable se puede eliminar la necesidad de gas de respaldo
- Baja inducción de Calor
- RMD-PRO maneja fácilmente los desniveles (Hi-Lo)

**Imagen 2-11.** Pase de raíz utilizando técnica RMD



*Fuente Ecopetrol S.A (2015)*

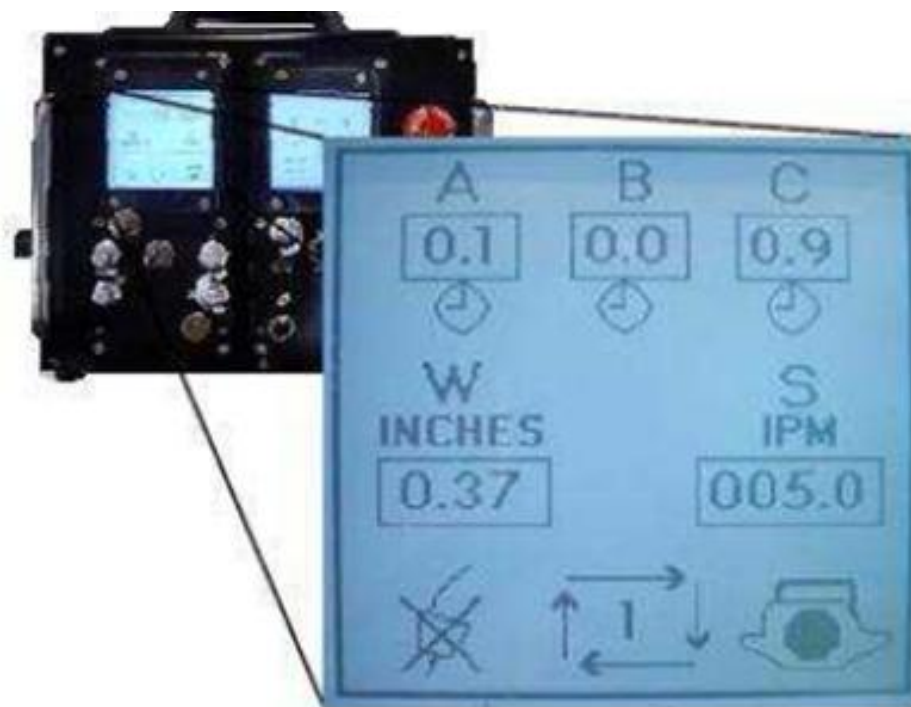
### 2.3.3 Equipo orbital común

El sistema orbital Pipe KAT Gullco de tubería incorpora alimentador de alambre de soldadura con velocidad hasta de 40 IPM, el diseño del carro con acción rápida de montaje facilita la instalación del sistema. El carro está equipado con una función de velocidad de alto rendimiento para acelerar la reubicación del carro. Además viene equipado con un oscilador lineal con ajuste de ancho de cordón de soldadura, paradas en los extremos y medios de la aplicación y todas las funciones son motorizadas e incorpora botones de *jog*. El sistema viene con una caja de control principal, con capacidad de peso para metal de aporte de 10 libras

(4,5 kg), con una velocidad de alimentación de alambre de 35 a 633 IPM (89 a 226 cm / min). La antorcha de soldadura utiliza consumibles estándar marca Binzel.

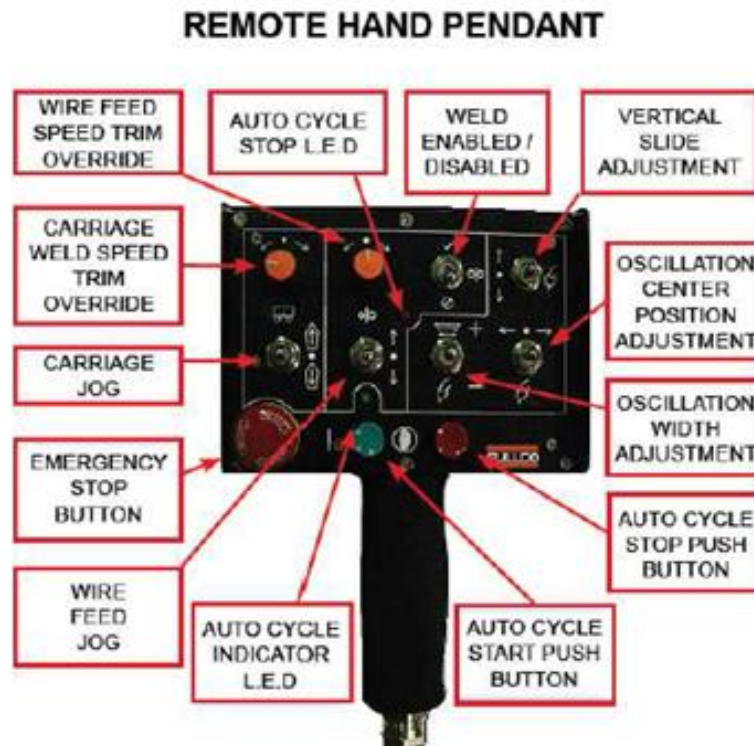
Es ligero, portátil, cuatro ruedas de fricción como accionamiento de transporte que se utiliza con riel, para cada diámetro de trabajo, para automatizar las operaciones de soldadura en cuento a relleno y presentación por medio de proceso de soldadura G-MAW. Un potenciómetro de velocidad permite seleccionar la velocidad entre el 0 y 40 in / min (0 a 101 cm/min). La unidad viene completa con mecanismos de ajustes verticales, horizontales y un soporte para pistola de corte automática. Está diseñado para funcionar en una trayectoria circular para realizar soldadura de tubería. La seguridad queda garantizada mediante el uso de baja tensión de 24 voltios DC de control de sistema, mediante un suministro monofásico de 230 Voltios AC a 50/60 Hz. Finalmente, posee un control remoto para los comandos de *Start/Stop* y rango de velocidad de avance.

**Figura 2-25.** Control remoto equipo orbital



Fuente: Ecopetrol S.A. (2015)

**Figura 2-26. Descripción Botones control**



Fuente: Ecopetrol S.A. (2015)

#### Ajuste motorizado del Ancho del Cordón

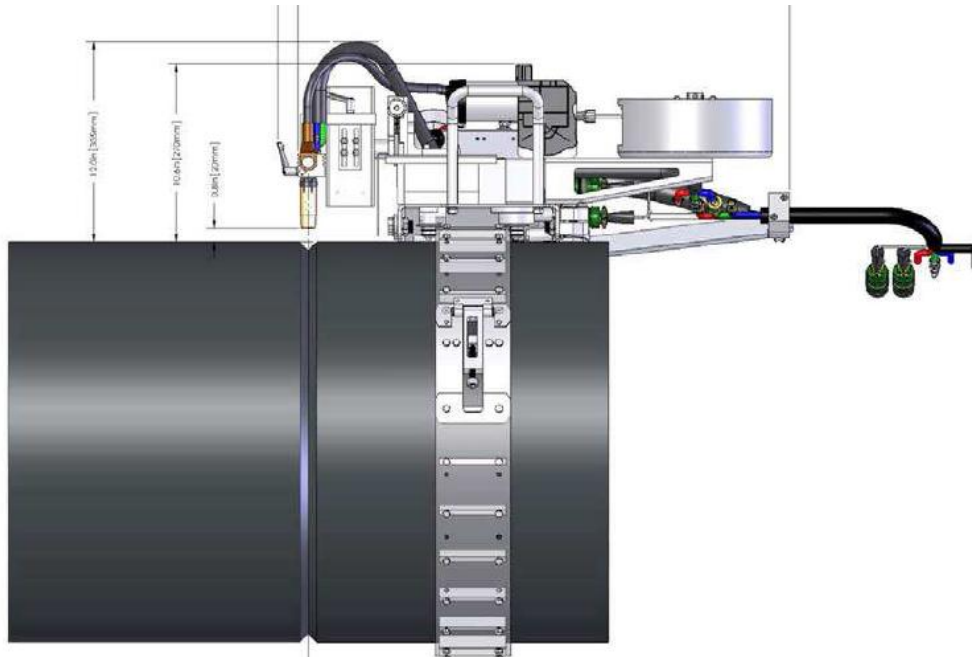
- Retorno de alta velocidad
- Posicionamiento Motorizado de la Antorcha de Soldadura
- Jog de Velocidad del carro
- Jog Arriba / Abajo
- Jog Alambre de alimentación.
- Weld Enable Activar / Desactivar
- Timbre de Inicio automático

**Imagen 2-12.** Configuración Dual de Cabezales en una Sola Banda



Fuente: Ecopetrol S.A. (2015)

**Figura 2-27.** Soldadura por Arco Eléctrico con Alambre Tubular



Fuente: Tomado de SOLDEXA (2011)



- **Características Principales del equipo**

*Sistema de Refrigeración Recirculado*

**Imagen 2-13.** Sistema de refrigeración recirculado



*Fuente: Ecopetrol S.A. (2015)*

El sistema refrigerante tiene un flujo constante de líquido refrigerante en el interior para mantener cebada la bomba y para reducir la acumulación de contaminantes en el depósito.

*Fuente de Potencia*

**Imagen 2-14.** Fuente de Potencia



*Fuente: Ecopetrol S.A. (2015)*



Permite cualquier tensión trifásica de entrada entre 208 y 460 Vac, sin necesidad de manipular la máquina, simplemente realizando la conexión al voltaje deseado. Ofreciendo mayor comodidad en cualquier lugar de trabajo. Ideal solución para la alimentación de entrada contaminada o poco fiable.

#### *Alimentador de Alambre*

**Imagen 2-15.** Alimentador de alambre



*Fuente: Ecopetrol S.A. (2015)*

- Válvula de gas con filtro doble: Ayuda a evitar que la suciedad obstruya la línea y afecte el flujo de gas
- Medidores de voltaje y amperaje: digitales .Muestran el voltaje y la velocidad del alambre; si se lo desea, también pueden indicar el amperaje. Los indicadores son claramente visibles aún con luz solar directa.
- Comandos: Controles para retención de gatillo, avance lento del alambre y purga de la línea de gas: de provisión estándar, están ubicados en el panel frontal.
- Rango de voltaje más amplio tanto para alambres pequeños como para grandes, sin desenganches del contactor ni cortes en el arco.

## **2.4 APLICACIÓN SOLDADURA AUTOMÁTICA EN COLOMBIA**

Desde hace varios años Colombia ha estado pasando por una etapa de crecimiento en su producción petrolera, pero en especial el comportamiento

últimos años ha generado que se deba optimizar la infraestructura actualmente instalada en el país, pero esto no ha sido suficiente ya que el incremento en la producción de los nuevos campos petroleros ha requerido que se emprendan nuevos proyectos de construcción de sistemas de oleoductos, como lo fue el Oleoducto Bicentenario (OBC), el cual inicio labores en los llanos orientales (Casanare) y se conectará al Oleoducto Caño limón Coveñas en el departamento de Arauca. La *Imagen 2-16* muestra la preparación de la tubería de uno de estos proyectos.

***Imagen 2-16.*** Preparación de la tubería para ser soldada automáticamente

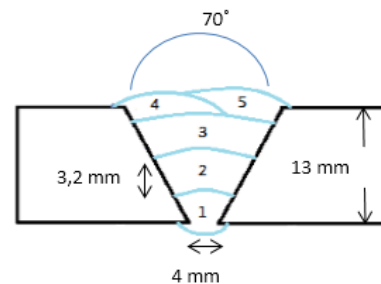


*Fuente: Oleoducto Bicentenario (2011)*

### 3 CÁLCULOS DE LAS DIFERENTES VARIABLES UTILIZADAS EN EL PROCESO MANUAL Y MECANIZADO

**Tabla 3-1. Ejercicio proceso mecanizado: tubería 16" diámetro, 0,5" espesor. API 5IX65**

PROCESO DE SOLDADURA AUTOMÁTICO		
FECHA	25 de Octubre de 2011 / ISMOCOL	
Equipo de Soldadura	PipePro 300 RFC Alimentador Pipepro SuitCase	
Equipo Mecanizado	PipeKat Gullco	
Programa del Equipo / Proceso	Pase de Raíz: RMD	Pases Relleno y Presentacion FCAW
Posición de Prueba/Progresión	Pase de Raíz: 5G / Descendente	Pases Relleno y Presentacion 5G / Ascendente
Alambre/Diámetro	Pase de Raíz: ER70S6 / 0.045	Pases Relleno y Presentacion E81T-1 Ni1M / 0.045
Proveedor	Pase de Raíz: WEST ARCO	Pases Relleno y Presentacion WEST RODE
Gas	75 Ar - 25 CO2 StarGold Tub	
Flujo de gas	35 - 40 CFH	



**Geometría de Junta y Desarrollo de la Aplicación**

Pase	1	2	3	4	5
Extension del Electrodo	1/8" - 3/4	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
Longitud de Arco Ajustado en Equipo	44	----	----	----	----
Voltaje ajustado (v)	16 - 18	25,5	25,5	24,5	24,5
Velocidad Alambre Ajustado (in/min)	155	232	238	228	228
Tamaño del Cono del Arco	24	----	----	----	----
Arc Control (Inductancia)	----	50	50	50	50
Vel Avance ajustada (inch/min)	----	4.2	4.2	5.2	5.2
W (Ancho Oscilación) (cm)	----	0.7	1.1	0.75	0.75
Capa de Soldadura	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	
Ancho Bisel a soldar (mm)	4,00	7,00	13,80	22,00	
Ancho del Cordón Obtenido (mm)	7,00	13,80	18,50	14,20	14,20
Altura del Cordón Obtenido (mm)	4,30	3,20	3,60	3,20	3,20
Inclinación Antorcha (+/- x °)	----	5	0	0	0
Voltaje medido	16,8	25,6	25,3	24,2	24,3
Amperaje medido	120 - 130	175-183	177-185	175-183	177-183

Fuente: Propia

**Tabla 3-2. Continuación ejercicio proceso mecanizado: tubería 16" diámetro, 0,5" espesor. API 5IX65**

RESULTADOS PARCIALES					
Los siguientes resultados presentados son una aproximación de los tiempos de rendimiento actuales con diferentes configuraciones de los equipos para realizar el mismo proceso de soldadura para tubería de 24":					
<b>1. DOS (2) OPERARIOS DE SOLDADURA REALIZANDO EL PASE DE RAIZ CON EQUIPOS PIPEPRO Y DOS (2) EQUIPOS PIPEKAT GULLCO REALIZANDO PASES DE RELLENO Y PRESENTACIÓN:</b>					
Longitud del cordón (inch)	50,27	50,27	50,27	50,27	50,27
Tiempo de soldeo	5'39"	6'86"	7'01"	5'52"	5'36"
Longitud Lineal de Soldadura (inch) realizada por cada operador					251,328
Tiempo Total de Arco Encendido (min)					30'14"
<b>2. DOS (2) OPERARIOS DE SOLDADURA REALIZANDO EL PASE DE RAIZ CON EQUIPOS PIPEPRO Y UN (1) EQUIPO PIPEKAT GULLCO REALIZANDO PASES DE RELLENO Y PRESENTACIÓN:</b>					
Longitud del cordón (inch)	50,27	50,27	50,27	50,27	50,27
Tiempo de soldeo Lado A	5'39"	6'09"	6'85"	5'52"	5'36"
Tiempo de soldeo Lado B	5'33"	6'19"	6'34"	5'04"	4'88"
Longitud Lineal de Soldadura Lado A (inch)					251,328
Longitud Lineal de Soldadura Lado B (inch)					251,328
Longitud Total Lineal de Soldadura (inch)					502,656
Tiempo Total de Arco Encendido (min)					56'99"
Adicional a los tiempos de arco encendido, se tomaron tiempos de paradas por limpieza y reajuste del PipeKat Gullco para reiniciar el siguiente cordón de soldadura:					
Tiempo de Limpieza Despunte de Cordón y Reinicio de Cordón	2'02	2'02"	4'58	2'48"	3'40"
<b>NOTA:</b>					
Se puede evidenciar un gasto de tiempo adicional entre el primer cordón de relleno y el segundo, puesto que se presentó contaminación en la boquilla de soldadura, por tal motivo se detuvo el proceso para realizar limpieza de los consumibles de soldadura.					
<b>3. FINALMENTE SE REALIZARON PRUEBAS EN CUANTO A LA PRESENTACION DE LA JUNTA, REALIZANDO UN SOLO CORDÓN DE SOLDADURA Y NOTANDO UN MEJOR COMPORTAMIENTO DEL TIEMPO PUESTO QUE EL TIEMPO DE SOLDEO DE UN LADO DEL TUBO (180°), CON UN SOLO CORDON DE PRESENTACIÓN, FUE DE 13, 41 min, MIENTRAS QUE EL TIEMPO REGISTRADO DE UN SOLO LADO DEL TUBO CON DOS CORDONES DE PRESENTACIÓN FUE DE 16,30 min.</b>					

Fuente: Propia

**Tabla 3-3. Ejercicio proceso manual: tubería 16" diámetro, 0,5" espesor. API 5IX65**

PROCESO DE SOLDADURA MANUAL		
FECHA	26 de Mayo de 2017 / ISMOCOL	
Equipo de Soldadura	Motosoldador de 250-300 amperios 60 Hz, tipo Lincoln SA-300	
Equipo Mecanizado	NA	
Programa del Equipo / Proceso	Pase de Raíz: SMAW	Pases Relleno y Presentacion SMAW
Posición de Prueba/Progresión	Pase de Raíz: 6G / Descendente	Pases Relleno y Presentacion 6G / descendente
Alambre/Diámetro	Pase de Raíz: 8010/ 5/32"	Pases Relleno y Presentacion 8010/ 3/16"
Proveedor	Pase de Raíz: WEST ARCO	Pases Relleno y Presentacion WEST ARCO
Gas	NA	
Flujo de gas	NA	

**T: 13 mm**

**Geometría de Junta y Desarrollo de la Aplicación**

Pase	1	2	3	4	5
Extension del Electrodo	14"	14"	14"	14"	14"
Longitud de Arco Ajustado en Equipo	----	----	----	----	----
Voltaje ajustado (v)	26-30	26-30	28-30	28-30	28-30
Velocidad Alambre Ajustado (in/min)	----	----	----	----	----
Tamaño del Cono del Arco	----	----	----	----	----
Arc Control (Inductancia)	----	----	----	----	----
Vel Avance ajustada (inch/min)	----	----	----	----	----
W (Ancho Oscilación) (cm)	----	----	----	----	----
Capa de Soldadura	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Ancho Bisel a soldar (mm)	1,60	2,80	5,52	8,80	8,80
Ancho del Cordón Obtenido (mm)	7,00	13,80	18,50	14,20	14,20
Altura del Cordón Obtenido (mm)	4,30	3,20	3,60	3,20	3,20
Inclinación Antorcha (+/- x °)	----	----	----	----	----
Voltaje medido	28,3	28,0	28,2	28,2	28,2
Amperaje medido	135-140	145-150	145-160	145-160	145-160

Fuente: Propia

**Tabla 3-4. Ejercicio proceso manual: tubería 16" diámetro, 0,5" espesor. API 5IX65****RESULTADOS PARCIALES**

Los siguientes resultados presentados son una aproximación de los tiempos de rendimeinto actuales para el proceso de soldadura para tubería de 16":

**1. UN (1) OPERARIOS DE SOLDADURA REALIZANDO EL PASE DE RAIZ Y PASES DE RELLENO Y PRESENTACIÓN:**

<i>Longitud del cordón (inch)</i>	100,53	100,53	100,53	100,53	100,53
<i>Tiempo de soldeo</i>	20'15"	16'22"	18'23"	17,52"	12'23"
<i>Longitud Lineal de Soldadura (inch)</i>					<b>502,656</b>
<i>Tiempo Total de Arco Encendido (min)</i>					<b>84'35"</b>

**2. DOS (2) OPERARIOS DE SOLDADURA REALIZANDO EL PASE DE RAIZ Y PASES DE RELLENO Y PRESENTACIÓN:**

<i>Longitud del cordón (inch)</i>	50,27	50,27	50,27	50,27	50,27
<i>Tiempo de soldeo Lado A (1 SOLDADOR)</i>	10'15"	8'11"	9'15"	9'0"	8'04"
<i>Tiempo de soldeo Lado B (2 SOLDADOR)</i>	10'15"	8'11"	9'15"	9'0"	8'04"
<i>Longitud Lineal de Soldadura Lado A (inch)</i>					<b>251,328</b>
<i>Longitud Lineal de Soldadura Lado B (inch)</i>					<b>251,328</b>
<i>Longitud Total Lineal de Soldadura (inch)</i>					<b>502,656</b>
<i>Tiempo Total de Arco Encendido (min)</i>					<b>44'45"</b>

Adicional a los tiempos de arco encendido, se tomaron tiempos de paradas por limpieza y reinicio del siguiente cordon de soldadura:

<i>Tiempo de Limpieza Despunte de Cordón y Reinicio de Cordon</i>	2'	2'	1'30"	1'	2'10"
---	----	----	-------	----	-------

**Nota:** el proceso se realizó Bajo el WPS número WPS-SMAW-ECP-VIT-07

*Fuente: Propia*

## 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 COMPARACION ANÁLISIS TEÓRICO Y EXPERIMENTAL

Tomando como referencia el procedimiento estándar de SMAW con electrodos Revestidos, se pueden hacer comparaciones entre las operaciones realizadas con el proceso SMAW y automático FCAW (proceso utilizado para realizar, estas se pueden visualizar:

#### 4.1.1 Tiempos de soldadura

De acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo anterior, en la *Tabla 4-1* se muestran las diferencias en tiempo utilizando los dos procesos y utilizando un (1) o dos (2) operarios:

**Tabla 4-1.** Comparación tiempos de soldadura entre procesos manual y mecanizado

COMPARACIÓN TIEMPO DE SOLDADURA ENTRE PROCESOS SMAW Y AUTOMÁTICO					
PROCESO		DIÁMETRO TUBERÍA (in)	ESPESOR DE LA JUNTA (mm)	TIEMPO TOTAL SOLDADURA	
PASE DE RAÍZ	PASE DE RELLENO Y PRESENTACIÓN			1 SOLDADOR	2 SOLDADORES
SMAW	SMAW	16"	13	84'35"	44'45"
RMD	SOLDADURA MECANIZADA PROCESO FCAW	16"	13	56'99"	30'14"
DIFERENCIA TIEMPOS				27'36"	14'31"

*Fuente: Propia*

#### 4.1.2 Ventajas de producción

**Tabla 4-2.** Ventajas de producción entre los dos procesos

	SMAW	FCAW	DIFERENCIA
Rango de velocidad	15-30 cm/min	75 cm/min	+100
Uniones soldadas 16" /hora con un (1) operario	0,711	1,052	+40

*Fuente: Propia*



### 4.1.3 Ventajas cualitativas económicas / de calidad y técnicas

**Cuadro 4-1.** Ventajas uso de proceso Manual Vs Mecánico

COMPARACIÓN PROCESOS SMAW VS PROCESO MECÁNICO FCAW		
	PROCESO	
	SMAW	FCAW
<i>Producción</i>	menor	mayor
<i>Tiempo de soldadura</i>	mayor	menor
<i>Costos de soldadura</i>	mayor	menor
<i>Costos por personal especializado</i>	mayor	menor
<i>Número de ayudantes</i>	mayor	menor
<i>Utilización de consumibles</i>	mayor	menor
<i>Costos de consumibles soldadura</i>	mayor	menor
<i>Calidad uniones soldadas</i>	menor	mayor
<i>Rechazos calidad de soldadura</i>	mayor	menor
<i>Nivel de capacitación y destreza de soldador/operario</i>	mayor	menor
<i>Control de parámetros y en tiempo real</i>	mayor dificultad	mayor facilidad
<i>Calidad pase de raíz</i>	menor	mayor (mejora usando proceso RMD)
<i>Manejo del arco eléctrico</i>	Difícil ya que es manual	Fácil manejo debido a que es a través de control remoto
<i>Limpieza entre pases</i>	Si	No
<i>Número de operarios que se requiere soldar la misma cantidad de uniones</i>	3 a 4 operarios	1 operario

Fuente: Propia



#### 4.1.4 Porcentaje de defectos que requieran reparación

Los factores de reparación que se evitan con la soldadura automática son:

- La habilidad del operador de soldadura no está condicionada por el cansancio físico, ya que no tiene que sostener ningún peso.
- La calidad de los consumibles no se vea afectada por las condiciones externas, es decir: es mucho más fácil de almacenar el cable correctamente que los electrodos.
- El grosor de la pared del pase de la raíz es aproximadamente el doble del manual, está cerca de 5-5,5 mm en condiciones normales.
- Es posible compensar hasta 3 mm de bajo - alto entre los extremos de la tubería colindante, sin generar la falta de fusión lateral en la raíz.

#### 4.1.5 Ventajas uso maquina cortador/biseladora

**Cuadro 4-2.** Comparación uso cortadora/biseladora manual VS maquina

COMPARACIÓN USO CORTADORA/BISELADORA MANUAL VS MÁQUINA CORTADORA/ BISELADORA		
Parámetros	BISELADORA MANUAL /CORTADORA (OXIACETILENO)	MÁQUINA PARA CORTAR/BISELAR
<i>Se puede trabajar en áreas restringidas o estrechas</i>	NO	SI
<i>Incrementan la productividad y reducen los costos de mano de obra, sin trabajo adicional o triturado requerido</i>	NO	SI
<i>El no tener llamas o chispas significa MENOS riesgo de incendio o explosión al trabajar en tuberías de gas</i>	NO	SI
<i>Existen diversidad de máquinas dependiendo de la aplicación, material del tubo, tamaño del tubo y el espesor de pared.</i>	NO	SI
<i>Zona afectada por el calor</i>	SI	NO

Fuente: Propia

#### 4.1.6 Comparación costos y tiempo de soldadura entre los dos procesos.

Tomando como referencia los costos de un contrato macro que tiene actualmente la empresa Ecopetrol y el cual tiene como finalidad la construcción y mantenimiento de los Oleoductos, poliductos y gasoductos, se realizó el cálculo de un día de trabajo de una cuadrilla de soldadura. Los resultados se muestran en la *Tabla 4-3*.

**Tabla 4-3. Comparación uso cortadora/biseladora manual vs máquina**

CÁLCULO COSTOS DÍA DE TRABAJO CUADRILLA SOLDADURA						
Descripción	Unidad de medida	No. Personas	Duración (días)	Total Solicitado	Valor Unitario	Valor Planeado
<b>PERSONAL</b>						
<b>Personal Convencional Básico</b>						
A2 Obrero, Operador de Equipos como: Plantas Eléctricas, Motobombas, Hidrolavadoras. Electrobombas, etc.	Día	1	1,00	1,00	\$ 168 205	\$ 168 205
B4 Ayudante Tecnico Mecanico/Electricista/Instrumentista/Metalmecanico/Paileria /Soldadura/Tubero/Biseladorz, Aparejador de Carga Grúa de hasta 30 Ton, Ayudante de Pintura, etc.	Día	2	1,00	2,00	\$ 183 434	\$ 366 868
C5 Auxiliar de Enfermería, Capitán A/B de Embarcación - Lancha Menor, Esmerilador, Pintor, etc.	Día	1	1,00	1,00	\$ 190 333	\$ 190 333
D9 Electricista I, Instrumentista I, Mecánico I, Operador de Grúa de hasta 30 Ton / Retro de Oruga / Sideboom, Pailero I / Tubero I, Soldador I, Buzo Profesional, etc.	Día	1	1,00	1,00	\$ 230 085	\$ 230 085
E11 Alineador – Tubero / Tubero IA / Pailero IA, Capitán A/B de Embarcación - Lancha Mayor, Electricista IA, Instrumentista IA, Mecánico IA, Operador de Grúa Mayor de 70 Ton, Patrón de Embarcación, Soldador IA, Supervisor de Buceo, etc.	Día	1	1,00	1,00	\$ 251 953	\$ 251 953
<b>SUB-TOTAL : Personal Convencional Básico</b>						<b>\$ 1 207 444</b>
<b>Personal Legal Básico Supervisión</b>						
Profesional Nivel VIII - HSE Operativo I, Prof Prog y Control Obra, etc.	Día	2	1,00	2,00	\$ 244 155	\$ 488 310
Nivel IX - Supervisor I, etc.	Día	1	1,00	1,00	\$ 317 114	\$ 317 114
<b>SUB-TOTAL : Personal Legal Básico Supervisión</b>						<b>\$ 805 424</b>
<b>SUB-TOTAL : PERSONAL</b>						<b>\$ 2 012 868</b>

Descripción	Unidad de Medida	Cant. Item	Duración (días)	Total Solicitado	Valor Unitario	Valor Planeado
<b>EQUIPOS</b>						
<b>Equipo Basico</b>						
Camion grua de 10 TON, con operador	día	1	1	1	\$ 1 150 036	\$ 1 150 036
Carrotaller Tipo Turbocargado O Similar, Con Conductor	día	1	1,00	1,00	\$ 655 878	\$ 655 878
Herramienta Tipo I	día	1	1	1	\$ 106 183	\$ 106 183
Vehiculo 4x4 doble cabina con platon con conductor legal	día	1	2	2	\$ 437 565	\$ 875 130
<b>SUB-TOTAL : Equipo Basico</b>						<b>\$ 2 787 227</b>
<b>SUB-TOTAL : EQUIPOS</b>						<b>\$ 2 787 227</b>
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>						<b>\$ 4 800 095</b>

<b>COSTOS INDIRECTOS</b>				
ADMINISTRACIÓN	%	17,5%	\$	840 017
IMPREVISTOS	%	1%	\$	48 001
UTILIDAD	%	5%	\$	240 005
<b>TOTAL : COSTOS INDIRECTOS</b>			<b>\$</b>	<b>1 128 022</b>
<b>VALOR TOTAL DÍA DE TRABAJO</b>			<b>\$</b>	<b>5 928 117</b>

*Fuente: Elaboración propia con soporte en costos de Ecopetrol*

Para la monografía se tiene un proyecto para realizar un poliducto de 100 km de longitud de 16" de diámetro y 13 mm de espesor, dando como resultado:

**Tabla 4-4.** Resultados en tiempos y costos para los dos procesos

ÍTEM	PROCESO SMAW	PROCESO FCAW AUTOMÁTICO
Juntas en 100 kilometros (und)	8333	8333
Tiempo total de arco encendido al día (min) teniendo como referencia 9 horas de trabajo	540	540
Tiempo soldadura de una junta de 16", 13 mm espesor (min)	84,35	56,99
Rendimiento al día (número de juntas)	6,40	9,475
tiempo (días) para soldar 8333 juntas	1301,6	879,4
Costo total proyecto de soldadura \$	<b>7 716 307 020</b>	<b>\$ 5 213 424 269</b>

*Fuente: Propia*

En conclusión se tiene:

**Tabla 4-5.** Costos total ahorrado por uso de proceso FCAW automático

	PROCESO SMAW	PROCESO FCAW
Costo total proyecto soldadura	\$ 7 716 307 020	\$ 5 413 424 269
Diferencia en Costos del proyecto utiizando el proceso automático FCAW con respecto al proceso SMAW	\$	2 302 882 751,2
Diferencia en tiempo (días) del proyecto utiizando el proceso automático FCAW con respecto al proceso SMAW		422
Costos ahorrados por tiempo no utilizado	\$	2 502 882 751,2
Costo total ahorrado (Costo por utilización del proceso automático+costo ahorrado por tiempo no utilizado)	\$	<b>4 805 765 502,5</b>
<i>Nota: En el ítem de costo total de proyecto para el proceso FCAW se adicionaron \$200 millones que corresponden</i>		

Fuente: Propia

## 5 CONCLUSIONES

Se realizó una recopilación de información detallada de los procesos que se utilizan con técnicas mecanizadas (GMAW/FCAW/GTAW), de las cuales ya existen en el mercado y han tenido gran aplicación en los proyectos de construcción de oleoductos y gasoductos.

Para la realización de esta monografía y en general para tubería de transporte de hidrocarburos se utiliza el método mecanizado a través del proceso FCAW el cual presenta mayores ventajas sobre el método GMAW (presenta faltas de fusión) y GTAW (se usa en espesores delgados, refinerías, calderas y equipos a presión).

Se realizaron pruebas y análisis a tubería de 16" de diámetro, 0,500 "de espesor API 5L65 dando como conclusión que el método mecanizado presenta ciertas ventajas sobre el manual (SMAW), ya que presenta aspectos principales como mayor rapidez que el proceso SMAW proporcionando mayor cantidad de material depositado en la junta soldada, por lo que el tiempo de ejecución de las juntas es menor que el proceso de soldadura por electrodo revestido (mayor productividad), adicionalmente cumple con los requerimientos para la soldadura de Tubería, eficientemente, reduciendo los costos y mejorando la calidad de las uniones soldada (80% menos defectología encontrada).

Se realizó el ejercicio puntual para un proyecto que contemplo la construcción de 100 kilómetros de tubería, el cual dio como resultado que el proceso automático contempla un ahorro significativo en cuanto a costos de \$4.8057.65.502 y de un 32% en tiempo; es de recordar que los tiempos de entrega del proyecto pueden significar la entrada más temprana de operación del poliducto, por lo que se tendría un ahorro adicional en el transporte del producto.

Las combinaciones ideales para obtener una excelente junta por el método mecanizado incluyen:

- Preparación de la junta: utilizar la máquina para cortar y biselar, la cual ofrece numerosas ventajas entre las cuales se tiene: se puede hacer cualquier tipo de bisel en sitio (30°, bisel interno o Bisel-J), Se puede trabajar en áreas restringidas o estrechas, Incrementan la productividad y reducen los costos de mano de obra, sin trabajo adicional o triturado requerido, El no tener llamas o chispas significa MENOS riesgo de incendio o explosión al trabajar en tuberías de gas.

- Pase de raíz: utilización del proceso RMD para la realización del pase de raíz, el cual puede eliminar el paso caliente, ya que los depósitos de soldadura en la raíz son lo suficiente para ir directamente a los pasos de relleno, adicional a que maneja fácilmente los desniveles (Hi-Lo) y evita la falta de fusión en la junta.

Se quiere con este trabajo que sea un insumo para el mayor uso en la construcción de nuevos proyectos de oleoductos, poliductos así como la implementación de esta tecnología en la ejecución de mantenimientos preventivos y correctivos de oleoductos, poliductos y gasoductos conllevando así a una soldadura con mayor calidad, menos exposición del personal por atmosferas peligrosas y reduciendo costos por paro de bombeo del sistema lo cual conlleva al cumplimiento final a los clientes.

## REFERENCIAS

- CDANG. (2012). Principe general soudage. Wikimedia Commons. Retrieved from [https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APrincipe\\_general\\_soudage.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3APrincipe_general_soudage.svg)
- COLFECAR. (2014, September). Colombia: ¿País petrolero o con petróleo? *Informes Especiales*.
- CORREA, F. (2014). Procesos de soldadura [Blog]. Retrieved from <http://procesosdemanufacturaymateriales.blogspot.com.co/2014/08/soldadura-por-arco-electrico-proceso-de.html>
- DUK. (2005). GTAW. Wikimedia Commons. Retrieved from <https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AGTAW.png>
- DWT PIPE TOOLS. (2016). Pipe cold cutting machine 2-48". Retrieved September 4, 2017, from <https://www.dwt-gmbh.de/en/pipe-cold-cutting-machine/>
- ESAB. (2009). Soldadura por arco con proceso TIG mecanizado [Presentación].
- FELIZARDO, I., BRACARENSE, A. Q., FAGUNDES, H. C., & LOPES, F. (2007). Qualificação do Procedimento de Soldagem Orbital de Dutos Utilizando Robô Dedicado de 4 Graus de Liberdade. In *8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica*. Cuzco.
- GULLCO. (2015). Automatización económica de soldadura [Presentación].
- HOLLIDAY, D. B., CARTER, S. R., DEFREITAS, L., FINK, D. A., FOLKENING, R. W., HODSON, D. D., & MANN, R. H. (1996). Soldadura por arco de metal y gas. In *Manual de Soldadura - Tomo I* (p. 49). Retrieved from <http://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Procesos/Soldadura-GMAW>
- JEFFUS, L. F. (2004). *Welding: Principles and Applications*. Thomson/Delmar Learning. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=zeRiW7en7HAC>
- LINCOLN ELECTRIC. (2011). Gas metal arc welding [E-Learning course]. Lincoln Electric Education Center. Retrieved from <http://www.lincolnelectric.com/es-mx/education-center/training-materials/Pages/training-materials.aspx>

- LINCOLN ELECTRIC. (2014). *Gas Metal Arc Welding Product and Procedure Selection*. Retrieved from [http://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable\\_MIGGMA\\_WWires-SuperArc-SuperArcL-56/c4200.pdf](http://www.lincolnelectric.com/assets/global/Products/Consumable_MIGGMA_WWires-SuperArc-SuperArcL-56/c4200.pdf)
- MANDAL, N. R. (2002). *Aluminum Welding*. Woodhead Publishing. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=0NXR2I9MHOAC>
- ME MECHANICAL. (2014). Gas Metal-arc Welding (GMAW) - Welding Technology. Retrieved September 8, 2017, from <https://me-mechanicalengineering.com/gas-metal-arc-welding-gmaw/>
- MILLER ELECTRIC MFG. CO. (2017). New Regulated Metal Deposition (RMD™) MIG Welding Process Improves Stainless Steel Pipe Fabrication - MillerWelds. Retrieved September 4, 2017, from <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/new-regulated-metal-deposition-rmd-mig-welding-process-improves-stainless-steel-pipe-fabrication>
- MONTAÑO, F. (2004). Tecnología mecánica II [Curso]. Universidad Mayor de San Simon. Retrieved from <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-43.pdf>
- NEWMAN, A. (2015). Gas Metal Arc Welding (GMAW) [Powerpoint slides]. Retrieved from <http://slideplayer.com/slide/4467784/>
- SOLDEXA. (2011). *Manual de soldadura y catálogo de productos* (7° edición).
- SWARTZ, J., & HEMMERT, B. (2008). *TIG Welding for dummies. Miller Electric Special Edition*. Hoboken, New Jersey: Wiley Publishing, Inc.